

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma / rakennetekniikka

Petri Pyhäjärvi

MELUHAITTOJEN VÄHENTÄMINEN KERROSTALOKODISSA

Opinnäytetyö 2011

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Rakennustekniikan koulutusohjelma

PYHÄJÄRVI, PETRI

#### MELUHAITTOJEN VÄHENTÄMINEN KERROSTALO-KODISSA

Opinnäytetyö

44 sivua + 12 liitesivua

Työn ohjaaja

lehtori Ilkka Paajanen, lehtori Sirpa Laakso

Toimeksiantaja

YIT Rakennus Oy

Tammikuu 2011

Avainsanat

akustiikka, ilmastointikanavat, ilmastointikonehuone, kerrostalo, meluhaitat, äänenvaimennin

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia kerrostalon ilmastointikonehuoneen aiheuttamaa ääntä, joka kulkeutuu asuinhuoneistoihin. Lisäksi pohditaan keinoja äänitason madaltamiseksi. Työssä tutkitaan myös porrashuoneesta asuntoihin välittyvää askelääntä. Tarkoituksena on määritellä akustisesti toimivat liitosdetaljit porrassyökyjen ja lepotasojen kiinnittämiseen.

Vuonna 1998 voimaan tulleet ympäristöministeriön uudet ääneneristysvaatimukset ovat parantaneet kerrostalojen akustisia ääniolosuhteita. Viime vuosina muutamissa kerrostaloissa ilmastointikonehuoneen alapuolella sijaitsevilla asunnoilla on kuitenkin havaittu häiritsevää melua. Kerrostalon porrashuoneesta asuntoon kantautuvat askeläännet eivät puolestaan ole olleet varsinainen ongelma. Porrassyökyjen ja lepotasojen liitoksista on olemassa ristiriitaisia suunnitelmia ja toteutustapoja, joten tutkimuksen tarkoituksena on määritellä näistä akustisesti toimivat liitosdetaljit. Melun aiheuttajia on kartoitettu aikaisempien tutkimuksien ja äänimittausten avulla sekä haastatteleamalla alan asiantuntijoita.

Tutkimuskohteessa tehdyt äänimittaustulokset täyttivät kaikki niille Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 asetetut vaatimukset. Porrashuoneiden äänitasot alittivat vaatimukset 17 desibelillä ja IV-äänitasot olivat juuri sallituissa rajoissa. Tämän tutkimuksen perusteella porrassyökyistä ja lepotasoista voidaan jättää pois kaikki tärinäeristimet. Näin voidaan tehdä, kun porrassyökyjen massa on riittävän suuri ja lepotasolaatan pinnassa käytetään askelääntä vaimentavaa desibelimattoa. Ilmastointikonehuoneen alapuolella sijaitsevien asuntojen melun aiheuttajaksi löydettiin ilmastointikanavia pitkin kulkeutuva ilmaääni. Mittauskohteessa ilmastointikanavat kulkevat olohuoneen ja keittiön yläpohjassa. Olohuoneessa kanavien suuntaa oli muutettu kahdella peräkkäisellä mutkakappaleella. Tässä pisteessä mitattiin myös korkein äänitaso. Melun vaimentamiseksi mutkakappaleiden sijoitusta asuinhuoneen päällä tulee välttää tai mutkakappaleen jälkeen tulisi käyttää lisä-äänenvaimenninta.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Bachelor's Degree of Technique / Structural Engineering

PYHÄJÄRVI, PETRI

How to Avoid Noise Abatement in Apartment House

Bachelor's Thesis

44 pages + 12 pages of appendices

Supervisor

Ilkka Paajanen, Senior Lecturer, Sirpa Laakso, Senior Lecturer

Commissioned by

YIT Rakennus Oy

January 2011

Keywords

abatement, acoustics, apartment house, air-conditioning room,  
air-conditioning duct, silencer

The purpose of this thesis was to examine the causes of high noise levels radiating from Heat, Ventilation and Air Conditioning mechanical rooms to apartments in high-rise buildings. The thesis studies different approaches to minimizing HVAC noises, as well as noises originating from traffic in the building stairwell. The goal was to define acoustically functional structural joints for attaching stair elements and stairwell planes.

The acoustical features of high-rise buildings have improved due to soundproofing regulations introduced by the Finnish Ministry of the Environment in 2000. Within the last few years, however, noise has been detected in apartments located directly below the HVAC rooms in high-rise buildings. Stairwell-originating noises have not been experienced as substantial problems, albeit conflicting industry standards in structural joints of stairwell elements. The thesis targets to identify reasons for noise with information based on earlier studies, noise measurements and interviews with experts.

The results of noise measurements made in the building subject to research fulfilled all requirements mentioned in section C1 of the The National Building Code of Finland. Stairwell noise levels were 17 dB below the maximum, and HVAC noise levels within requirements. According to this study, all stairwell vibration isolators are unnecessary given that the stair element mass is sufficient and a soundproofing mat is installed on top of the stairwell planes. The main reason for noise experienced below HVAC rooms was determined to be airflow noise carried by the ventilation ducts, which are installed within the roof elements. A specific problem was found in the living room of the research subject - the ventilation duct was redirected with two successive curved elements. This design caused the highest noise levels measured in the subject. Therefore additional soundproofing material should be applied to curved elements within the ventilation duct system.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	AKUSTIIKAN PERUSKÄSITTEITÄ	8
2.1	Ääni ja melu	8
2.2	Ääniaalto	9
2.3	Taajuus	10
2.4	Äänen absorptio	10
2.5	Jälkikaiunta-aika	12
2.6	Äänenpaine ja äänenpainetaso	13
2.7	Ilmaääni	15
2.8	Runkoääni	15
2.9	Askelääni	15
2.10	Äänen heijastuminen	16
3	ILMAÄÄNENERISTYS	17
3.1	Rakenteelliset sivutiesiirtymät	18
3.2	Tiiviiden vaikutus ilmaääneneristykseen	19
3.3	Ilmaääneneristävyuden mittaus	19
4	ASKELÄÄNENERISTYS	21
4.1	Äänitason muodostuminen	21
4.2	Rakenteen katkaiseminen	22
4.3	Porrashuoneiden askeläänieristys	22
4.4	Askelääneneristävyuden mittaaminen	22
5	ÄÄNENERISTYSVAATIMUSTEN JA RAKENNUSTAVAN KEHITTYMINEN SUOMESSA	24
5.1	Rakentamisen laatu ja äänieristyksen tiedostaminen	24
5.2	Rakentamismääräyksen vaatimukset	25
5.3	Uudet suositukset tulosten laskemista varten	27

6 LAITTEIDEN ASENNUS JA ILMASTOINTIKANAVIEN	
ÄÄNENERISTYS	27
6.1 Ilmavirtauksen ääni	28
6.2 IV-laitteiden ääneneristyksen toteuttaminen	28
6.3 Joustavat liittimet	29
6.4 Joustavat värinäeristimet	30
6.5 Värinäeristimien suunnittelu	30
6.6 Värinäeristyksen mitoittaminen	31
7 TUTKIMUSTEHTÄVÄT JA TUTKIMUSMENETELMÄT	32
8 MITTAUSTULOKSET	34
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	35
10 POHDINTAA JA JATKOTUTKIMUSMAHDOLLISUUKSIA	39
PAINETUT LÄHTEET	41
PAINAMATTOMAT LÄHTEET	43
HAASTATTELUT	43
LIITTEET	44
LIITE 1: Porrassyöksen asennusdetalji (mittauskohteen detalji)	
LIITE 2: Porrassyöksen asennusdetalji (mittauskohteen detalji)	
LIITE 3: Lepotasolaatan -ja ontelolaatan liitos kantavaan seinään (periaatedetalji)	
LIITE 4: Lepotasolaatan kannatus kantavasta seinästä (mittauskohteen detalji)	
LIITE 5: IV-konehuoneen ja asunnon välinen detalji (tilaajan lähtötieto)	
LIITE 6: Taajuuskaistoittain mitatut askelääniäänitasot mittauskohteessa	
LIITE 7: Betonikeskus Ry:n määräykset täyttävä välipohja	
LIITE 8: IV-koneiden ja konehuoneen sijainti mittauskohteessa	
LIITE 9: Mittauskohteen ilmastointikanavat	
LIITE 10: Leikkauskuva mittauskohteesta	
LIITE 11: IV-konehuoneen sijainti vertailukohteessa	
LIITE 12: Vertailukohteen pumppu	

## 1 JOHDANTO

Asuinkerrostalojen ääniolosuhteet ovat viime vuosina nousseet yhä tärkeämmiksi tekijöiksi asumisviihtyvyyden kannalta. Nykyisin käytössä oleva Ympäristöministeriön laatima Suomen rakentamismääräyskokoelma (SRMK) osa C1-1998 ”Ääneneristystä ja meluntorjuntaa rakennuksessa” astui voimaan vuonna 1998. Tiukentuneet ääneneristysvaatimukset aiheuttivat merkittäviä muutoksia kerrostalojen runkorakenteiden ainevahvuuksiin ja parannuksia käytettyihin materiaaleihin. Kyseisillä muutoksilla on päästy hyviin tuloksiin, mutta samaan aikaan kehittyvän talotekniikan ja uuden tyyppisen suuria avoimia tiloja suosivan arkkitehtuurin aikana on törmätty uudenlaisiin ääneneristysongelmiin.

Rakennustarkastusyhdistyksen vuonna 2009 tekemän tutkimuksen mukaan viime vuosina on löydetty selittämättömiä ääneneristysvaatimusten alituksia. Nykyarkkitehtuurin suuntaus yhdistää keittiö ja olohuone yhdeksi suureksi tilaksi on aiheuttanut ongelmia kerrosten välisessä ääneneristävyydessä. Rakennusteollisuus (RT) on pyytänyt Rakennustarkastusyhdistystä (RTY) antamaan rakennusvalvontaviranomaisille suosituksen, jonka mukaan ääneneristävyyttä arvioitaessa tilan kokona käytettäisiin laskennallisesti enintään 60 m<sup>3</sup>:a. (Suositus ääneneristyksen mittaamisesta 2010.)

Tätä opinnäytetyötä varten tehdyt äänimittaukset perustuvat RTY:n antamiin uusiin suosituksiin. Nykyisin yleisin käytössä oleva asuinkerrostalojen rakennusmuoto on BES (Betonielementtistandardi)-järjestelmä, joka perustuu esivalmistettuihin kantaviin pääty- ja väliseinäelementteihin sekä välipohjana käytettäviin ontelolaattoihin. Vaikka rakennusosat itsessään täyttävät niille asetetut ääneneristysvaatimukset, elementtien liitosten merkitys koko rakennuksen akustiselle toimivuudelle on keskeisessä asemassa. Rakentamisvaiheessa tehdyt virheet ovat työläitä ja kalliita korjata jälkeenpäin, joten suunnitteluun ja toteutukseen on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan tilasta toiseen epäsuorasti kulkeutuvia ääniaaltoja, joiden eteneminen voidaan katkaista oikealla suunnittelulla ja laadukkaalla toteutuksella.

Tekniikan tohtori h.c. Alpo Halme, joka on tehnyt mittavan uran akustiikan suunnittelijana, tutkijana ja opettajana, kertoi näkemyksistään haastattellessani häntä tutkimusta varten. Hänen mukaansa nykysuunnittelijat käyvät liian harvoin työmaalla. Suunnitte-

lijat voisivat tuoda ajatuksiaan vahvemmin esille tapaamalla työnjohtoa työmaalla ja he voisivat samalla saada arvokasta palautetta toteutuksen näkökulmasta. Alpo Halmeen mukaan ongelmana on tiedonkulun katkos, joka johtuu vuorovaikutuksen puutteesta eri osapuolten välillä. Alpo Halme puki mietteensä ”siniseksi ajatukseksi”:

”Elämme tietoyhteiskunnassa, jossa suurin ongelma on tiedon kulku”(Halme 2010).

Betonyhdistyksen Internet- sivuilla on saatavilla porrashuoneen liitosdetaljeja, jotka ovat suunniteltu akustisesta näkökulmasta. Akustisia liitoksia ei kuitenkaan aina käytetä, jolloin suunnittelu ja toteutus eivät kohtaa. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaan porrashuoneesta asuntoon kantautuva äänitaso saa olla enintään 63 dB. Tämä vaatimus ei ole kovinkaan tiukka ja siksi tutkimuksessa pohditaan akustisten liitoksien tarpeellisuutta porrassyöksyjen ja kerrostasolaattojen kiinnityksessä.

Lähtökohdaksi ilmastointikonehuoneen melutason tutkimiselle tilaaja esitti yhden kerrostalon yläpohjan rakennedetaljin, jossa ilmastointikonehuoneen ja asunnon välinen yläpohjarakenne oli arvioitu liian ohueksi (liite 5). Yläpohjan rakennedetaljia peilattiin sekä mittauskohteeseen että vertailukohteen yläpohjarakenteisiin. Tutkimuksessa vertaillaan rakenneratkaisuja ja pohditaan niiden toimivuutta tätä työtä varten tehtyjen äänimittaustuloksien avulla.

Tutkimus rakentuu teoriaosuudesta, jossa perehdytetään akustiikan peruskäsitteisiin, selvennetään ääneneristysvaatimukset ja esitellään Suomen Standardisoimisliiton (SFS) mukaiset äänenmittausmenetelmät. Opinnäytetyötä varten suoritettiin äänimittauksia yhdessä Etelä-Suomessa sijaitsevassa kerrostalo-osakeyhtiössä marraskuussa 2010. Tässä opinnäytetyössä kyseisestä kohteesta käytetään nimitystä ”mittauskohde”. Lisäksi työssä seurataan toisen, kesäkuussa 2010 valmistuneen eteläsuomalaisen kerrostalo-osakeyhtiön tapausta, missä ilmastointikonehuoneen alapuolella asuva ihminen oli valittanut piinaavasta melusta. Tässä opinnäytetyössä kyseisestä kohteesta käytetään nimitystä ”vertailukohde”.

## 2 AKUSTIIKAN PERUSKÄSITTEITÄ

Tässä luvussa esitellään akustiikan peruskäsitteitä, jotka esiintyvät tässä tutkimuksessa. Äänien käyttäytyminen mielletään yleisesti vaikeaselkoiseksi. Siksi sitä kuvataan mahdollisimman selkeästi esimerkkejä käyttäen. Akustiikan peruskäsitteiden avulla voidaan oppia ymmärtämään äänen käyttäytymistä ja sitä kautta välttämään ja ratkaisemaan huone- ja rakennusakustiikassa esiintyviä ongelmia.

### 2.1 Ääni ja melu

Ääni on kimmoisassa väliaineessa etenevää värähtelyä, joka saa aikaan kuulohavainnon. Väliaine voi olla missä tahansa olomuodossa, kuten muun muassa nesteinä, kaasuina tai kiinteinä aineina. Ääni ei siis voi edetä tyhjiössä. Äänelle annetaan nimityksiä sen perusteella, missä väliaineessa ääniaalto etenee. Jokaiseen kuulemaamme ääni-ilmiöön liittyy jonkinlainen liike, joka aiheuttaa paineen vaihtelua eli ääntä. Äänilähteenä toimivat tavallisesti erilaiset värähtelevät pinnat, kaasun ja nestevirtaukset tai äkilliset tilavuuden muutokset, kuten räjähdykset. (Borenus, Lampio, Pesonen, Jauhainen, Nuotio, Pyykkö 1989, 10, 14–15.)

Ääni ja melu ovat fysikaalisesti sama asia, mutta melu voidaan määritellä ei-toivotuksi ääneksi. Melu on ihmisen ja ympäristön kannalta epämieliekäs ääni, joka voi aiheuttaa sekä fyysistä että psyykkistä haittaa. Melu voi sisältää suuren joukon eritaajuisia ääniä, jotka eivät ole harmonisessa suhteessa toisiinsa. Koska melulle tyypillinen ominaisuus on sen häiritsevyys, on melun määrittäminen fysikaalisesti mittaamalla lähes mahdotonta. Äänen häiritsevyyteen vaikuttavat voimakkuuden ja muiden fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi muun muassa kuulijan herkkyys ja asennoituminen äänilähdettä kohtaan. Myös ääni, jota ei koeta häiritseväksi, voi vahingoittaa terveyttä. (Valtion ympäristöhallinto 2010.)

Melu on yksi suurimmista yksittäisistä tekijöistä, joka heikentää elinympäristömme laatua. Meluhaittoja lisäävät väestönkasvu, kaupungistuminen, tekninen kehitys ja erityisesti jatkuvasti lisääntynyt liikenne. Nuorten harrastukset ovat painottuneet yhä enemmän melua tuottaviin ympäristöihin kuten diskoihin ja moottoriurheiluun. Tutkimuksien mukaan yli miljoona suomalaista altistuu haitalliselle melulle päivittäin. (Kansanterveyslehti 2/1992)



Äänen fysikaaliset ominaisuudet ja laatu vaikuttavat äänestä syntyvään aistimukseen ja häiritsevät kuulijaa. Tilan akustiikka ja taustamelu vaikuttavat kokemuksen laatuun. Yleisimmin melu koetaan häiritseväksi silloin, kun normaali kommunikointi vaikeutuu. Tilannetekijöillä on suuri merkitys ääniympäristön arviointiin. Nukkuessa ääniolosuhteille asetetut vaatimukset ovat kaikkein korkeimmat, kun taas valveillaoloaikana siedetään hyvinkin erilaisia äänen voimakkuuksia. Vaatimukset ääniolosuhteille kasvavat varsinkin stressin, työpaineiden ja kiireen kasvaessa. Melun sietokykyyn vaikuttavat monet inhimilliset seikat kuten mielialavaihtelut ja väsymys. Äänen laatu voi olla sävyltään häiritsevää, vaikka äänitaso ei olisikaan erityisen voimakasta. Hetkelliset eli impulssimaiset äänet, kuten patteriverkoston kolahtelu, koetaan usein häiritseviksi. Niin ikään usein häiritseväästä kapeakaistaisesta eli tonaalisesta melusta hyvä esimerkki on porraskäytävän postiluukusta virtaavan ilmavirran aiheuttama vihellys. (Kylliäinen 2007, 11–12.)

Melun haittavaikutukset ovat vaikeasti todennettavissa, koska kokemus melutasosta on usein subjektiivinen. Melu vaikuttaa myös ihmisiin monin eri tavoin. Sen lisäksi, että ääni voi aiheuttaa hetkellisiä tai pysyviä kuulovaurioita, melu vaikeuttaa kommunikointia, häiritsee unta ja heikentää työkykyä. Sillä voi myös olla muita psykologisia ja psyykkisiä haittavaikutuksia. (Rossing 1983, 571.)

## 2.2 Ääniaalto

Ääniaallot ovat kimmoisia eli elastisia aaltoja. Ne jotka etenevät väliaineessa tai rakenteessa, jossa on massaa sekä kimmoisuutta. Äänen nopeus ( $c$ ) riippuu väliaineesta. Etenemisnopeus huoneen lämpötilassa on noin 344 m/s. Ilmassa alimman kuultavan äänen aallonpituus on noin 20 m ja ylimmän noin 2 cm. Koska rakennuksessa esiintyvät pinnat ja rakenteet ovat ainevahvuudeltaan ja materiaaleiltaan erilaisia, on akustisia laskelmia varten tehtäviä äänimittauksia tarkasteltava eri aallonpituuksia vastaavilla taajuuskaistoilla. (Halme 1981, 9.)

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

$\lambda$  = aallon pituus [s]

$c$  = äänen etenemisnopeus [v]

$f$  = taajuus [Hz]

Esimerkiksi 50 Hz:llä aallonpituus ilmassa on:

$$\lambda = \frac{334 \text{ m/s}}{50 \text{ Hz}} = 6,7 \text{ m}$$

## 2.3 Taajuus

Taajuus kertoo ääniaaltojen lukumäärän sekunnissa. Kuuloaistimus syntyy, kun ilmanpaineen vaihtelu saa korvan rumpukalvon värähtelemään. Ihminen aistii värähtelyt äänenä, joiden taajuus on 16–16 000 Hz. Kun taajuus on pieni, sanotaan ääntä matalaksi. Kun taajuus on suuri, sanotaan ääntä korkeaksi. Ihminen voi tunnistaa värähtelyn myös tuntoaistinsa avulla, jolloin värähtelyä kutsutaan tärinäksi. (Halme 1981, 4.)

$$f = \frac{n}{T} \quad (2)$$

$f$  = taajuus [Hz]

$n$  = värähtelyiden määrä

$T$  = aikajakso [s]

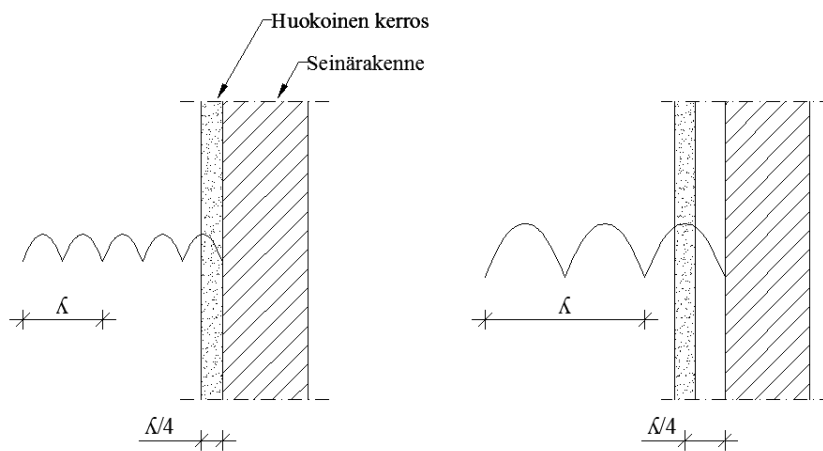
## 2.4 Äänen absorptio

Äänen absorptiolla tarkoitetaan huonetilassa etenevien ääniaaltojen vaimentamista. Absorptio on fysikaalinen ilmiö, jossa ääniaalto imeytyy huokoiseen aineeseen kuten mineraalivillan pintaan ja näin ollen vaimentaa huonetilan sisällä syntyvää ääntä. Äänenabsorptiokyky perustuu kitkan aiheuttamiin lämpöhäviöihin ahtaissa kuiturakenteissa. Materiaaleilla on erilainen kyky absorboida ääniaaltoja. (Kylliäinen 2007, 46.)

Kuvassa 1 on esitetty pintaan kohtisuoraan saapuvan ääniaallon hiukkasnopeudelle muodostuva seisova aalto. Seisova aalto on ilmiö, jossa heijastuvat ääniaallot vahvistavat toisiaan. Aalto vahvistaa itseään kimmotessaan seinästä ja jää soimaan. Rakenteesta heijastuvan ääniaallon hiukkasnopeus on pienimmillään rakenteen pinnalla ja suurimmillaan aallonpituuden neljänneksen ( $\lambda/4$ ) kohdalla. Tehokkaimmin huokoinen materiaali absorboi taajuuksia, joiden aallonpituus on vähintään nelinkertainen materiaalin paksuuteen verrattuna. Esimerkiksi 20 mm paksu huokoinen mineraalivil-lalevy (d) absorboi tehokkaimmin ääniä, joiden aallonpituus on alle 80 mm, jolloin taajuudeksi saadaan noin 4 200 Hz. (Kylliäinen 2007, 149.)

$$\lambda = 4 \cdot d = 4 \cdot 20 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \leftrightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{334 \text{ m/s}}{80 \text{ mm}} \approx 4200 \text{ Hz}$$



Kuva 1. Taajuuden vaikutus absorptiomateriaalin sijoitteluun. Oikealla huokoinen materiaali on asetettu irti seinärakenteesta, jolloin materiaali kykenee absorboimaan pitkäaaltoisempia eli pienitaajuisempia ääniä kuin vasemmalla, kun materiaali on kiinni seinärakenteen pinnassa. (Kylliäinen 2007, 149.)

Absorptiosuhteella kuvataan materiaalin pinnasta heijastuneen ja sen kohdanneen äänitehon suhdetta. Absorptiosuhde on positiivinen, laaduton luku 0...1. Jos absorptiosuhde on 1, kaikki äänienergia absorboituu. Jos puolestaan absorptiosuhde on 0, kaikki ääni heijastuu takaisin. (Borenus ym. 1989, 19.)

$$\alpha = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \quad (3)$$

$\alpha$  = absorptiosuhde

$P_1$  = pintaan kohdistunut ääniteho [W]

$P_2$  = takaisin heijastunut ääniteho [W]

Absorptioala on pinnan ala kerrottuna sen absorptiosuhteella. Esimerkiksi jos huoneeseen asennetaan 10 m<sup>2</sup> vaimennusmateriaalia, jonka absorptiosuhde on 0,6, absorptioalaksi saadaan:  $A = 10 \text{ m}^2 \cdot 0,6 = 6 \text{ m}^2 - \text{sab}$ . Absorptioalaa tarvitaan määrittäessä jälkikaiunta-aikaa Sabine kaavalla (5). (Kotiakustiikka 2010.)

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (4)$$

$A$  = absorptioala [m<sup>2</sup>-sab]

$S_i$  = huoneen pinta-ala [m<sup>2</sup>]

$\alpha_i$  = pinnan absorptiosuhde

## 2.5 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika määritellään aikaväliksi, joka kuluu äänilähteen sammuttamisen ja sen hetken välillä, kun äänienergia on vaimentunut miljoonasosaan alkuperäisestä eli 60 dB. Amerikkalainen W. C Sabine oli huoneakustiikan edelläkävijä 1800–1900-luvun vaihteessa. Hän tutki jälkikaiunta-aikaa korvakuulolla ja sekuntikellolla, kunnes löysi riippuvuuden huoneen tilavuudesta ja siellä olevien absorptiopintojen määrästä. (Borenus ym. 1989, 62.)

Kaavaa käytettäessä on hyvä huomioda, että se antaa vain likimääräisiä tuloksia. Kaavassa oletetaan, että ääntä ei absorboidu huoneilmaan lainkaan. Toiseksi oletetaan, että huonetilassa etenevät ääniaallot heijastelevat niin nopeasti, että tilassa vallitseva energiatiheys on vakio. Tämä tarkoittaa, että kaikilla seinillä mitattava intensiteettitaso olisi tietyllä ajan hetkellä sama. Tämä on varsin karkea yleistys mutta huoneen keskiarvosuuretta mitattaessa yleensä riittävän tarkka. (Hemilä & Utriainen 1991, 112.)

$$T = \frac{0,161V}{A} \quad (5)$$

$T$  = jälkikaiunta-aika [s]

$A$  = absorptioala [ $\text{m}^2$ -Sab]

$V$  = huonetilavuus [ $\text{m}^3$ ]

## 2.6 Äänenpaine ja äänenpainetaso

Äänenä aistittavasta ilmanpaineen muutoksesta käytetään nimitystä äänenpaine  $p$  [Pa]. Äänenpaine on äänikentästä aiheutuvan hetkellisen paineen ja staattisen paineen erotus. Käytännössä äänen aiheuttamat paineet ovat hyvin pieniä staattisiin arvoihin verrattuna. Esimerkiksi ilman staattinen paine on  $100 \text{ kPa} = 100\,000 \text{ Pa}$  ja puheäänien äänenpaine on noin  $0,02 \text{ Pa}$  normaalikeskustelun aikana. Kuulokynnys eli pienin ilmanpaineen muutos, jonka ihminen pystyy aistimaan, on  $P_0 = 20 \text{ }\mu\text{Pa}$ . Ääniaistimus muuttuu kipuaistimukseksi, kun äänenpaine nousee  $20 \text{ Pa}$ . (Kylliäinen 2007, 36.)

Äänenpainetason eli äänen voimakkuuden (SPL, Sound Pressure Level) yksikkönä käytetään desibeliä [dB]. Äänihavaintoa ei synny, jos äänenpaine ei ole riittävän suuri. Normaalisti ihmisen kuulokyvyllä pystyy kuulemaan  $1\,000 \text{ Hz}$ :n äänen, jos äänenpaine ylittää  $20 \text{ }\mu\text{Pa} = 0,00002 \text{ Pa}$ . Kun taajuus pienenee, tarvitaan huomattavasti suurempi äänenpaine, jotta kuulohavainto syntyisi. Tärkein taajuusalue ihmisen kuulon kannalta on  $100\text{--}4\,000 \text{ Hz}$ , jossa pienempi paine saa aikaan aistimuksen. Taajuuden kasvaessa tästä korvan kuulokyky alkaa heikentyä. Taulukossa 1 on esitetty yleisimpien äänilähteiden aiheuttamia äänipainetasoja. (Audiokirja 2010, 23.)

Taulukko 1. Yleisien äänilähteiden aiheuttama äänenpainetaso (Kylliäinen 2007, 37.)

Äänenpainetaso $L_p$	Äänilähde
25 dB	Hiljainen asuinhuoneisto yöaikaan
35 dB	Toimistohuoneen taustamelu
45 dB	Pankkisalin taustamelu
55 dB	Toimisto, jossa kuuluu puhetta
65 dB	Normaali puheääni 1 metrin päässä
75 dB	Voimakas puheääni 1 metrin päässä
85 dB	Suurtalouskeittiössä koneiden käydessä
95 dB	Sinfoniaorkesterin voimakkaimmat äänet
105 dB	Kovaaäänisen rock-konsertin aikana

Äänenpainetason mittauksessa käytetään usein niin sanottua A-suodatinta, joka pyrkii rajaamaan kuulon kannalta tärkeät äänitaajuudet. Melutason mittaukseen käytetään merkintää dB (A).

$$L_{pA} = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (6)$$

$L_{pA}$  = äänenpainetaso [dB (A)]

$P_0 = 20 \mu\text{PA}$ , vertailupaineen tehollisarvo

$P$  = tarkasteltava äänenpaine

Keskiäänitasolla tarkoitetaan jatkuvaa äänitasoa, jossa huomioidaan vaihtelevan äänitason logaritminen keksi-arvo jollakin tietyllä mittausaikavälillä (T). Keskiäänitason ero riippuu äänilähteen tuottaman äänen kestoajasta ja sen mittaamiseen käytetystä ajasta. Mitä pidempi mittausaika on melulähteen toiminta-aikaan verrattuna, sitä alhaisempi on keskiäänitaso. Osa rakennuksessa ja ympäristössä vallitsevista äänilähteistä tuottaa jatkuvasti melua, eikä melun intensiteetti juuri muutu ajan kuluessa. Esimerkiksi rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä tuottaa suunnilleen samanlaisen äänitason vuorokaudenajasta riippumatta. Rakennuksissa vaikuttaa myös suuri joukko hetkellisiä tai jaksottaisia ääniä, kuten hissi. Ihminen kokee hetkellisen voimakkaan äänen usein häiritsevämmäksi kuin pitkäkestoisen tasaisen kohinan. Äänilähteiden äänenhallinnassa on edellä mainituista syistä otettava huomioon pitkäaikainen keskiäänitaso  $L_{a,eq,T}$  [dB] ja hetkellinen enimmäisäänitaso  $L_{a,max}$  [dB]. (Kylliäinen 2007, 40.)

## 2.7 Ilmääni

Ilmääneksi sanotaan ilmassa eteneviä ääniaaltoja. Ääniaalto saadaan aikaan millä tahansa liikkeellä, joka aiheuttaa ilman paineen vaihtelua. Ilmääntä syntyy lähes kaikesta huoneistossa tehtävästä toiminnasta. Ihmisen toiminnan lisäksi ilmääntä syntyy rakennuksessa olevista LVIS-laitteista. (Thermowood 2010.)

Ilmäänen voimakkuuden arvioimiseen on kehitetty ilmääneneristysluku, joka kuvaa rakenteen kykyä eristää ilmääntä tilojen välillä. Ilmääneneristystaso on sitä parempi, mitä korkeampi arvo saadaan. Ilmäänellä on yleensä merkitystä, kun tarkastellaan äänen etenemistä viereisiin tiloihin yhden rajoittavan seinän läpi. Laboratoriossa mitattua ilmääneneristysluvusta käytetään merkintää  $R_w$  kun taas  $R'_w$  kuvaa rakennuksessa mitattua ilmääneneristyslukua. (Kylliäinen 2007, 60.)

## 2.8 Runkoääni

Runkoääni on runkorakenteessa tai muussa kiinteässä kappaleessa etenevää mekaanista värähtelyä. Ihminen tuntee runkoäänen värähtelynä tuntoaistinsa avulla, mutta runkoäänen muuttuessa ilmääneksi äänestä voi tehdä kuulohavainnon. Runkoäänen lähteinä ovat usein koneet tai laitteet, joista mekaaninen värähtely siirtyy koneen kiinnityksen kautta rakenteisiin. Värähtelevät rakenteet säteilevät puolestaan toisiin tiloihin, jolloin runkoääni muuttuu takaisin ilmääneksi. Runkoäänen eteneminen rakennuksen sisällä on usein tärkein tarkasteltava äänen etenemismuoto, koska runkoääni vaimenee heikosti rakenteissa ja voi siten edetä pitkiä matkoja. (SFS 5100 1985, 119.)

## 2.9 Askelääni

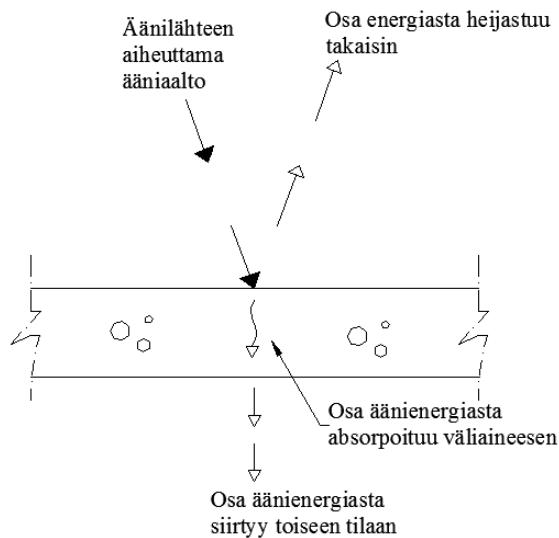
Askeläänellä tarkoitetaan kävelystä, esineiden putoamisesta, huonekalujen siirtelystä ja muista vastaavista äänistä aiheutuvaa runkoääntä. Tällaisista iskun saanut rakenne saa ympärillä olevan ilman värähtelemään, jolloin isku havaitaan rakenteen toisella puolen ilmäänenä. Askelääneneristyksen tarkoituksena on vähentää rakenteisiin kohdistuvien iskujen aiheuttamaa ääntä. (Kylliäinen 2007, 115.)

Askeläänitasoluku kuvaa askelääneneristävyyttä tilojen välillä. Askelääneneristävyys on sitä parempi, mitä matalimpia arvoja saadaan. Laboratoriossa mitattua askelää-

neneristysluvusta käytetään merkintää  $L_{n,w}$  kun taas  $L'_{n,w}$  kuvaa rakennuksessa mitattua askelääneneristyslukua. (RIL 129 2003, 130.)

## 2.10 Äänen heijastuminen

Suuret, kovat pinnat kuten alakatot ja seinät heijastavat korkeita ja keskitaajuisia ääniaaltoja, kun taas pehmeät materiaalit kuten matot, verhot tai vaatteet absorboivat tämän kaltaisia ääniä. Äänen heijastumista rajapinnasta voidaan tarkastella samalla tavoin kuin valon heijastumista peilistä. Ääniaallot heijastuvat pinnasta samassa kulmassa kuin siihen osuttuaan. Kuvassa 2 havainnollistetaan, kuinka heijastuessaan pinnasta ääniaalto menettää osan energiastaan, joka absorboituu. Heijastuneen äänen äänenpainetaso on suoran äänen tasoa alhaisempi, koska sen kulkema matka on pitempi. Ääniaalto voi heijastua rajapinnasta tai kappaleesta, jos objekti on fyysiseltä kooltaan suurempi kuin ääniaallon pituus. Kalustetuissa tiloissa jokainen huonekalu aiheuttaa heijastumia, joita voi olla vaikea hallita. Julkisissa tiloissa näkyvillä olevat kantavat pilarit tai palkit voivat aiheuttaa ikäviä yllätyksiä akustiikan kannalta, jos niitä ei ole osannut ottaa suunnitteluvaiheessa huomioon. (Event Solution 2010.)



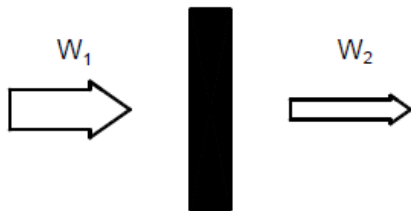
Kuva 2. Äänen käyttäytyminen sen kohdatessa kovan seinäpinnan (Event Solution 2010.)



Useat pitkittyneet heijastumat koetaan yleisesti kaikumisena. Tämä ilmiö johtuu pitkästä jälkikaiunta-ajasta, kun ääni ei absorboitu huonetilassa vaan säteilee edestakaisin tilaa ympäröivistä rajapinnoista. Jälkikaiunta-aikaa säätelämällä saadaan sopiva äänimaailma jokaiseen tilaan. Jälkikaiunta-aika voi vaihdella toimistohuoneen 0,5 sekunnista konserttisalin 3 sekuntiin. Suurissa tiloissa kuten konserttitiloissa täytyy osata huomioida myös ihmisten tuoma vaikutus äänen käyttäytymiseen. Ihmisten absorboiva vaikutus on merkittävä akustiikan kannalta. (Event Solution 2010.)

### 3 ILMAÄÄNENERISTYS

Arkikielessä sekoitetaan yleensä absorptio ja ääneneristys. Ääneneristyksellä tarkoitetaan tilasta toiseen kulkeutuvien ääniaaltojen vaimentamista. Hyvä ääneneristys saavutetaan esimerkiksi massiivisella ja tiiviillä betonirakenteella. Kyseisellä rakenteella on puolestaan huono absorptiokyky, koska betonirakenteen kova pinta heijastaa ääniaallon voimakkaasti takaisin huonetilaan. Ääneneristävyttä eri äänitehoilla on kuvattu taulukossa 2. Ilmaääneneristävyys määritellään kuvan 3 ja kaavan 7 mukaisesti seinämän kohdanneen ja sen läpäisseen äänitehon logaritmisena suhteena. (Kylliäinen 2007, 47–49.)



Kuva 3. Ilmaääneneristävyys määritellään rakenteeseen kohdistuvan ja sen läpäisevän äänitehon suhteena (Rakennussuunnittelu 2010, 6.)

$$R = -10 \log \frac{W_2}{W_1} \quad (7)$$

$R$  = ääneneristävyys [dB]

$W_1$  = seinämän kohdannut ääniteho [W]

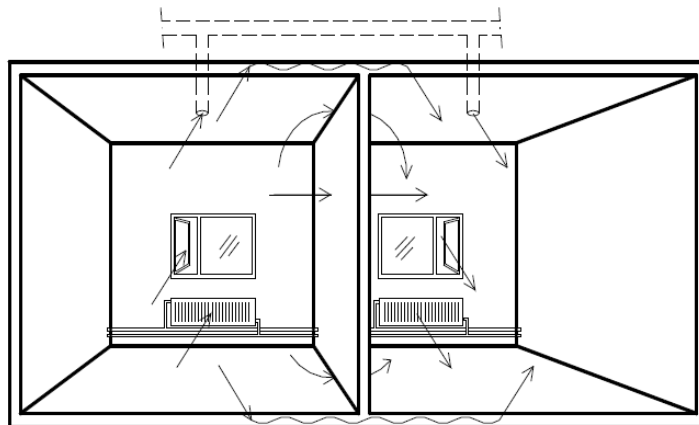
$W_2$  = seinämän läpäissyt ääniteho [W]

Taulukko 2. Ilmaääneneristävyyksiä eri äänitehon suhteilla (Rakennusteollisuus 2010.)

R [dB]	$W_2/W_1$
10	0,1
20	0,01
30	0,001
40	0,0001
50	0,00001
60	0,000001

### 3.1 Rakenteelliset sivutiesiirtymät

Sivutiesiirtymällä tarkoitetaan yleisesti ottaen äänen siirtymistä tilasta toiseen jotain muuta reittiä kuin suoraan tiloja erottavan rakenteen välityksellä, kuten kuvassa 4 on esitetty. Rakenteelliseen sivutiesiirtymään tarvitaan vähintään yksi huoneita sivuava rakenne. Tilassa värähtelevä äänilähde saa tilaa rajaavat rajapinnat värähtelemään, mistä aiheutuu puolestaan runkoääntä. Värähtely voi edetä runkoäänenä useita eri reittejä, joten voidaan sanoa, että rakenteellista sivutiesiirtymää tapahtuu aina rakennuksessa. Runkoäänien energian jakaantuminen riippuu liitososien massasta ja jäykkyydestä. Lisäksi rakenteellista sivutiesiirtymää voidaan estää niin sanotuilla liikuntasaumoilla, joilla rakenne katkaistaan esimerkiksi ilma-, mineraalivilla- tai kumikerroksella. (Kylliäinen 2007, 106.)



Kuva 4. Äänen siirtymäreittejä rakennuksessa (Rakennussuunnittelu 2010, 13.)

Rakennuksessa käytettävät LVIS (lämpö, vesi, ilma ja sähkö)-järjestelmät aiheuttavat oman lukunsa äänen siirtymiselle. Kanavien, putkien ja johtojen kautta siirtyvät äänet tilojen välillä aiheuttavat sen, että rakennuksessa mitattava ilmaääneneristysluku  $R'_w$  on käytännössä aina alhaisempi kuin tiloja erottavan rakenteen laboratoriossa mitattu ilmaääneneristysluku  $R_w$ . (Kylliäinen 2007, 106.)

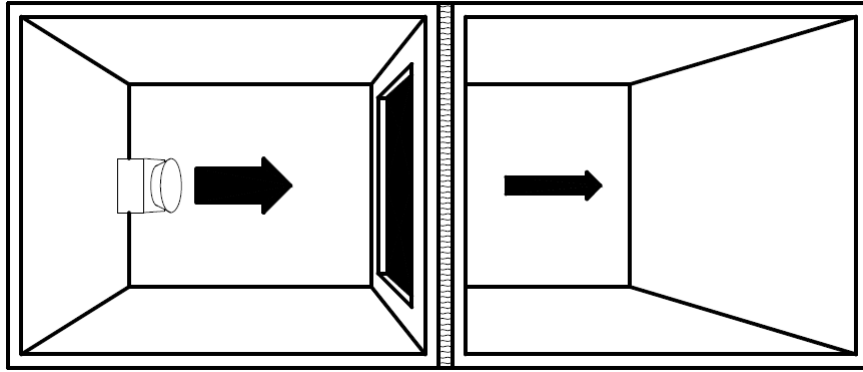
### 3.2 Tiiviyn vaikutus ilmaääneneristykseen

Esitetyt kaavat (1–7) pätevät ääneneristykselle ainoastaan, jos rakenteen pinta on tiivis. Huokoisissa materiaaleissa, kuten mineraalivillassa ja kevytsoraharkkoissa, ääni etenee huokosia pitkin eikä ääneneristystä juuri tapahdu. Tilannetta voidaan parantaa pinnoittamalla eriste levyllä tai rappauksella. (Halme 1976, 130–131.)

Erityistä huolellisuutta täytyy noudattaa ikkunoiden, ovien ja elementtirakenteiden tiiviyn yhteydessä, joissa esiintyy usein kapeita rakoja. Raot voivat läpäistä pinta-alaansa nähden jopa satakertaisen äänitehon. Jos huoneistojen välisessä seinässä on elementin korkuinen halkeama, on käytännössä mahdoton saavuttaa määräyksien mukaisia vaatimuksia. Yleisesti betonielementeissä käytetyt sähköputkitukset ja varaukset voivat jättää auki kanavia, joita pitkin ääni voi päästä siirtymään tilasta toiseen. Muun muassa tästä syystä ontelolaattojen pituussuuntaisissa saumoissa saa viedä enintään kaksi sähköputkea Ø 20 mm ja ontelolaattojen päätysaumoissa enintään kolme Ø 20 mm:n sähköputkea. Saumavalut on tiivistettävä huolellisesti, jotta saumat saadaan valetuksi tiiviisti kokonaan umpeen. (Halme 1976, 132.)

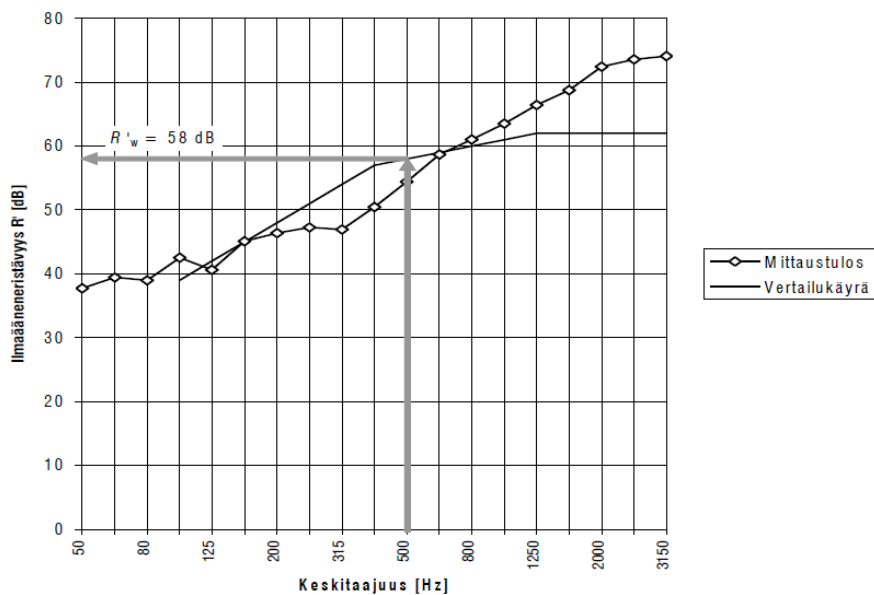
### 3.3 Ilmaääneneristävyden mittaus

Tilojen välinen ilmaääneneristys voidaan määritellä standardin ISO 140–4–:1998 ja ISO 717–1:1996 mukaisesti. Standardien mukainen mittaus suoritetaan kuvan 5 mukaisesti asettamalla lähetyshuoneeseen kaiutin, joka toistaa laajakaistaista mittaussignaalia voimakkaalla äänitasolla. Äänimittauksessa tarkastellaan yksittäistä rakenneosan ilmaääneneristävyttä, jolloin voidaan vertailla materiaalien ääneneristysominaisuuksia. Äänitaso mitataan sekä lähetys- että vastaanottohuoneesta. Mittauksessa käytetään kahta kaiuttimen paikkaa ja molemmin puolin yhteensä kymmentä mittauspistettä. Standardin mukaan mittaukset tehdään taajuusalueella 100–3150 Hz. (Acoustics part 7 1998, 7.)



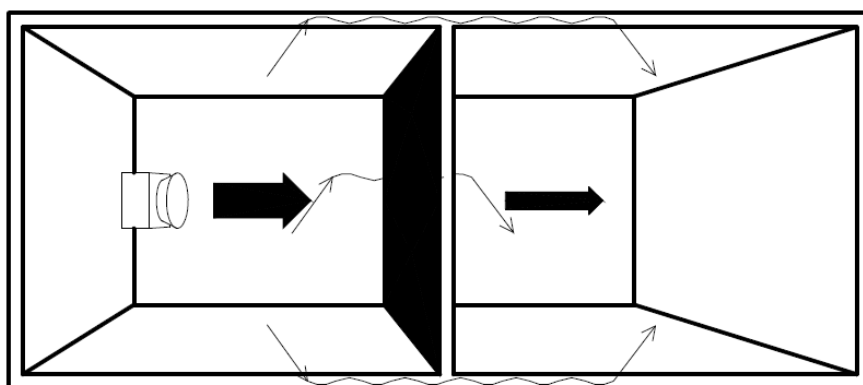
Kuva 5. Ilmääneneristävyyden mittaus laboratoriossa. (Elementtisuunnittelu 2010, 8.)

Taajuuskaistoittain mitattu ilmääneneristävyyssäätö asetetaan vertailukäyräasteikolle siten, että mitattujen askeläänitasojen poikkeama on enintään 32 dB. Vertailukäyrää siirretään 1 dB:n portain sellaiseen kohtaan, että edellä mainittu vaatimus täyttyy. Kun vertailukäyrä saadaan asetettua ylimpään mahdolliseen kohtaan, luetaan ilmääneneristävyyden luku 500 Hz:n kohdalla. Tilojen välinen ilmääneneristävyys on sitä parempi, mitä suurempi lukuarvo on. Kuvassa 6 on esitetty vertailukäyrä yhtenäisellä viivalla, sekä mitattu ilmääneneristävyyssäätö palloja sisältävällä viivalla. (Acoustics part 1 1996, 24.)



Kuva 6. Ilmääneneristysluvun  $R'_w$  määrittäminen vertailukäyrän avulla (Elementtisuunnittelu 2010, 10.)

Rakennuksessa suoritettu äänimittaus huomio myös sivutiesiirtymän avulla etenevät ääniaallot. Kuvassa 7 on esitetty äänen kulkeutumisreittejä rakennuksessa suoritetusta ilmaäänimittauksesta. Äänimittauksen avulla voidaan arvioida koko rakenteen toimivuutta ja tutkia liitoksien vaikutusta ilmaääneneristävyyteen. (Acoustics part 4 1998, 8.)



Kuva 7. Ilmaääneneristävyyden mittaus rakennuksessa (Elementtisuunnittelu 2010, 9.)

## 4 ASKELÄÄNENERISTYS

Askeläänellä tarkoitetaan muun muassa ihmisten kävelystä ja huonekalujen siirtelystä aiheutuvaa ääntä. Askelääneneristävyyden peruseräiteena on rakenteen katkaiseminen siten, että äänen siirtyminen rakenteessa katkeaa. Tässä luvussa käsitellään pääasiassa porrashuoneista kantautuvia ääniä ja niiden vaimentamiseen käytettäviä ratkaisuja, koska ne ovat tämän opinnäytetyön kannalta tärkeimmät näkökulmat.

### 4.1 Äänitason muodostuminen

Kerrostaloissa askeläänitasovaatimus porrashuoneesta asuntoon on 63 dB. Tämä vaatimus ei ole kovinkaan tiukka ja vaatimus on saavutettavissa paljon vähäisimmillä toimenpiteillä kuin kerrosten välinen askeläänitasovaatimus. Porrashuoneista välittyneet äänet ovat vain harvoin aiheuttaneet valituksia asukkailta. Lisääntynyt hissien käyttö on vähentänyt merkittäväksi porrashuoneissa kulkemista. (Markkula 2010.) Alhaisen askeläänitasovaatimuksen takia riittävään lopputulokseen on mahdollista päästä ilman tärinäeristimiä ja pehmeitä päällysteitä. Edellytyksenä on, että porraskanteet ovat riittävän raskaat. Porrassyöksyjä ei saa kiinnittää sivuseiniin, vaan ne tuetaan

vain päistään kerros ja lepotasoihin. Elastisella kitillä peitetään sivuseinän ja porrassyöksyn väliin jäävä rako. (Halme & Halme-Salo 2003, 217.)

#### 4.2 Rakenteen katkaiseminen

Runkoääni etenee väliaineessa poikittaisena aaltoliikkeenä. Ääniaaltojen eteneminen voidaan katkaista tekemällä äänitekninen rakennesauma. Jos runkoääntä aiheuttava kone on maanvaraisella betonilattialla, irrotetaan lattia seinistä esimerkiksi neopreenisella irrotuskaistalla ja elastisella kittauksella. Runkoäänien eteneminen voidaan katkaista myös huone-huoneeseen -menetelmällä. Siinä lattian lisäksi myös seinät ja katto irrotetaan ympäröivistä rakenteista. (Halme & Halme-Salo 2003, 219.)

#### 4.3 Porrashuoneiden askeläänieristys

Kerrostalon porrashuoneista kantautuu voimakkaita askelääniä, koska portaissa kuljettaessa käytetään usein kovapohjaisia tai korollisia kenkiä sekä portaita noustessa jalan isku alustaan on voimakkaampi. Pehmeiden lattiapäällysteitten käyttö on kuitenkin yleensä mahdotonta, koska kulutus porrashuoneessa on erittäin suuri. Nykyaikaiset porrassyöksyt tehdään valmiiksi betonielementeiksi, jotka voidaan eristää lepotasolaitoista tärinäeristimin. Myös lepotasot tulee suunnitella ja toteuttaa kelluvana rakenteena. Runkoon liittyvän teräsputkiliitoksen ympärillä voidaan käyttää siihen tarkoitettua neopreenikumia. Näin ollen porrastasoista välittyvä tärinä ei välity runkoäänenä eteenpäin. (Halme 1976, 242.)

#### 4.4 Askelääneneristävyysmittaaminen

Tässä opinnäytetyössä keskitytään askeläänien ja ilmaäänien mittaamenetelmiin, jotka ovat standardoituja. Tässä työssä käytetään standardeja SFS-EN ISO 717-4 ja SFS-EN ISO 140-7. Mittaustulosten perusteella tehtävä luokittelu tapahtuu standardeihin SFS-EN 140-1 ja SFS-EN 140-2 nojautuen.

Askelääneneristävyttä mitataan standardin ISO 140-7 mukaisesti, jossa äänilähteenä käytetään standardoitua askeläänikonetta. Askeläänikoneen rakenteeseen tuottama isku on tarkasti määritelty ja toleranssit ovat hyvin tiukat, jotta saadut tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Askeläänikoneessa on viisi teräslieriöistä vasaraa rivissä vä-

hintään 100 mm:n etäisyydellä toisistaan. Lieriöt ovat halkaisijaltaan 30 mm ( $\pm 0,2$  mm). Kukin vasara painaa 500 g ( $\pm 12$  g), ja ne putoavat vapaasti 40 mm:n ( $\pm 5$  %) korkeudelta kaksi kertaa sekunnissa. Askeläänikoneen runkoäänenä toiseen tilaan aiheuttamaa äänenpainetasoa mitataan vastaanottotilassa standardin mukaisesti taajuuskaistoittain (100–3150 Hz). (Acoustics part 7. 1998, 9.)

Askelääntä voidaan mitata myös laboratoriossa, mutta silloin saadaan tietoa vain kyseisen rakennusosan askelääneneristävyydestä. Rakennuksessa askelääneen vaikuttavat kaikki testattavaan rakenteeseen liittyvät rakennusosat, joten käytännössä laboratoriossa saatu mittaustulos ei ole saavutettavissa. Näin ollen rakennusmääräysten mukainen vaatimus voidaan varmuudella todentaa vain rakennuksessa tehtävin äänimitauksin. (Elementtisuunnittelu 2010.)

Nykymääräyksissä käytetty askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ei ota huomioon alle 100 Hz:n taajuuksia, vaikka suurin osa kävelystä aiheutuvasta askeläänestä sijoittuu kyseiselle taajuusalueelle ja vaikuttaa siten ihmisen kokemaan askeläänitasoon. Spektripainotustermillä voidaan huomioida myös matalia taajuuksia. Spektripainotustermi  $C_{I,50-2500}$  ja askeläänitason summan ( $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ ) on todettu vastaavan paremmin ihmisten kokemusta askeläänieristyksestä. Spektripainotustermi on desibeliarvo, joka huomioi tietyn äänispektrin ominaisuudet ja joka lisätään yksilukuluokitukseen. (Elementtisuunnittelu 2010.)

$$L_{n,T} = L_i - 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} \quad (8)$$

$L_{n,T}$  = standardisoitu askeläänitasoluku [dB]

$L_i$  = mitattu äänenpainetaso [dB]

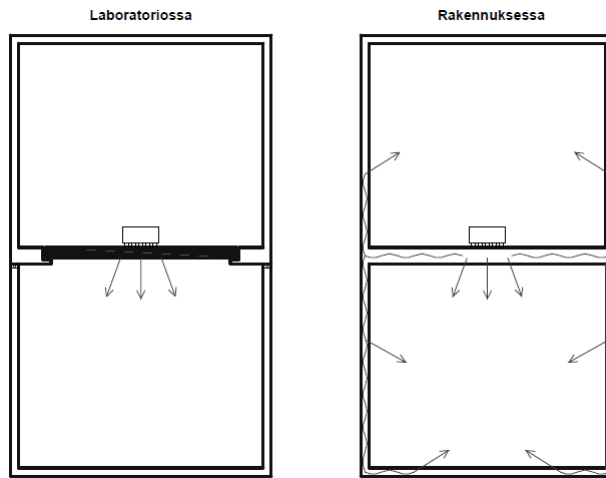
$T$  = mitattu jälkikaiunta-aika [t]

$T_0$  = vertailujälkikaiunta-aika 0,5 s [t]

$$C_I = 10 \log_{10} \sum_{i=50}^{2500} 10^{L_{n,i}/10} - 15 - L'_{n,w} \quad (9)$$

$L_{n,i}$  = normalisoitu äänenpainetaso [dB]

$L'_{n,w}$  = mitattu askeläänitasoluku [dB]



Kuva 8. Askeläänitason mittaus laboratoriossa ja rakennuksessa (Elementtisuunnittelu 2010.)

## 5 ÄÄNENERISTYSVAATIMUSTEN JA RAKENNUSTAVAN KEHITTYMINEN SUOMESSA

Ensimmäiset rakennusten äänieristysvaatimukset on annettu Suomessa 1960-luvun lopusta alkaen Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n normeina. Ennen ensimmäisten ääneneristysnormien valmistumista vuonna 1967 kansalaisten kokemuksia kerrostalon ääniolosuhteista saattoi lukea lehtien yleisökirjoituspalkistoilta. Myöhemmin ihmisten ahdistuneisuus huonoista ääniolosuhteista on otettu vakavasti ja kerrostalon ääneneristyksestä on laadittu viranomaismääräyksiä. (Ampuja 2007, 146–147.)

### 5.1 Rakentamisen laatu ja äänieristyksen tiedostaminen

Ampuja siteeraa teoksessaan yleisökirjoitusta, josta on helppo havaita, kuinka kaoottisissa oloissa ihmiset joutuivat asumaan 60-luvulla:

”Asumme Lauttasaarella kerrostalossa Otavantien varrella. Talo on rakennettu vuonna 1938–1939. Kellarissa on pumppu, joka käy kaikki yöt ja tärisyttää permanttoa niin, että nukkumisesta ei tule yhtään mitään. Tätä on kestänyt jo pitemmän aikaa. 3 cm:n paksuiset kumilevyt on sänky-



jen alla, mutta nekään eivät auta. Isännöitsijälle on ilmoitettu, mutta parannusta ei ole tullut. Sijaintipaikkoja olisi kyllä pumpulle, kun toinen pää taloa liikkeitä ja toimistoja. Olisiko ketään asiantuntijaa, joka vois neuvoa, millä saisi tärinän pois.” (Ampuja 2007, 150.)

Suomessa ilmestyi vuosina 1963–1967 Akustinen aikakauslehti, joka oli Suomen Teknillisen Seuran julkaisema lehti. Lehdessä käsiteltiin ääneen, akustiikkaan ja meluntorjuntaan liittyviä kysymyksiä. Lehden ilmestyminen oli alkusoitto kohti viihtyisämpää asumista. Siinä julkaistiin artikkeleja, joissa käsiteltiin teknisiä ja rakenteellisia toimenpiteitä, joiden avulla asuinrakennukset saataisiin kohtuullisilla kustannuksilla meluttomiksi. Pääasialliseksi syyksi ääneneristysongelmiin todettiin asiantunteamattomuus. Väliseinä ja välipohjarakenteet olivat liian ohuet, työn valvonta huolimatonta, yhteiskanavajärjestelmien rakenne virheellinen ja pumput jätetty ilman tärinävaimentimia. Lämmönjakohuoneet oli sijoitettu virheellisesti ja jätetty ilman riittävää ääneneristystä. Suurilta osin heikkoa rakentamisen laatua voidaankin perustella juuri 60-luvulla laajenneella asuntotuotannolla. Elementtirakentaminen oli rantautunut pysyvästi Suomeen, jolla saatiin vauhditettua kasvanutta asuntotarvetta. Rakentamiskustannuksissa juuri ääneneristyksestä oli helppo säästää, koska normistoa ei ollut vielä kehitelty. (Ampuja 2007, 148.)

## 5.2 Rakentamismääräyksen vaatimukset

Ympäristöministeriö on rakennuslain 13 § (557/89) nojalla antanut määräykset ja ohjeet rakenteellisesta äänenerityksestä ja meluntorjunnasta uudisrakennuksessa (C1). Määräykset tulivat voimaan 1.10.1998. Määräykset ja ohjeet korvaavat 18.10.1984 annetut ääneneristysvaatimukset (C1). Aikaisempaa säännöstä sai kuitenkin soveltaa rakentamiseen, johon oli haettu rakennuslupa ennen 1.1.2000. Ääneneristyksen ja meluntorjunnan kannalta tämä tarkoittaa seuraavaa:

”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että melu jolle rakennuksessa tai sen lähellä olevat altistuvat, pysyy niin alhaisena, ettei se vaaranna näiden henkilöiden terveyttä ja että se antaa mahdollisuuden nukkua, levätä ja työskennellä riittävän hyvissä olosuhteissa.” (Ympäristöministeriö 1998.)

Rakennusmääräyksissä on esitetty asuinrakennuksessa noudatettavat akustiset vaatimukset taulukkoarvoina ilmajäänen- ja askelääneneneristävyydelle. Asetettujen desibeliarvojen lisäksi rakennuksen tulee täyttää niin sanottu olennainen vaatimus. Olennainen vaatimus on täytettävä kaikissa olosuhteissa kunnossapidolla koko rakennuksen elinkaaren ajan. (Ympäristöministeriö 1998.)

Ympäristöministeriön ohjeiden lisäksi ääneneristysvaatimuksia voidaan määrittää myös kaavamääräyksissä. Jokaisen rakennushankkeeseen ryhtyvän tulee varmistaa, että riittävän hyvät ääniolot saavutetaan sekä uudis- että korjausrakentamiskohteissa. (Sipari 2003, 8.)

Taulukoissa 3–7 on esitetty Rakennusmääräyskokoelman osan C1 kerrostaloa koskevat ääneneristysvaatimukset. Taulukoihin on kerätty tämän tutkimuksen kannalta olennaisimmat ohjearvot. Taulukoissa on sekä ilma- että askelääneneneristävyyttä koskevat määräykset. (Ympäristöministeriö 1998.)

Taulukko 3. Pienimmät sallitut ilmajääneneneristysluvun  $R'_w$  arvot (Ympäristöministeriö 1998.)

	dB
- Asuinhuoneiston ja sitä ympäröivien tilojen välillä yleensä	55
- Asuinhuoneiston ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä, kun välissä on ovi	39

Taulukko 4. Päiväaikaiset sisämelun keskiäänitason ohjearvot  $L_{a,eq,s}$  7–22 (Ympäristöministeriö 1998.)

	dB
- Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet sekä opetus- ja kokoontumistilat	35
- Liike- ja toimistohuoneistot	45

Taulukko 5. Yöaikaiset sisämelun keskiäänitason ohjearvot  $L_{a,eq,s}$  22–7 (Ympäristöministeriö 1998.)

	dB
- Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet	30

Taulukko 6. Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  arvot (Ympäristöministeriö 1998.)

	dB
- Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneeseen, yleensä	53

### 5.3 Uudet suositukset tulosten laskemista varten

Ääneneristysvaatimuksia tiukennettiin vuonna 1998 (RakMK C1-1998). Uusien normien julkaisua edelsi tutkimus rakenneratkaisuista, joilla tiukentuneet määräykset täyttyisivät. Tutkimuksen tuloksena julkaistiin Betonirakenteiden ääniteknikka -teos, joka sisälsi osion betonivälipohjien ääniteknisistä rakennekorteista. (Suositus ääneneristysten mittaamisesta 2010.)

Merkkejä määräysten täyttämättömyydestä alkoi kertyä vuonna 2007. Nykyarkkitehtuurissa suositut avarat ja yhtenäiset tilat aiheuttavat ongelmia määräyksien täyttymiselle. Rakennusteollisuus ry:n Betonikeskus asetti vuonna 2008 asiantuntijatyöryhmän selvittämään ongelmaa. Selvityksien lopputuloksena todettiin, että isoissa tiloissa havaitut ongelmat aiheutuvat sekä sivutiesiirtymän aliarvioimisesta että käytettyjen materiaalien heikentyneestä ääneneristävyydestä. Normien täyttämiseksi Rakennusteollisuus ry on julkaissut uudet ohjeet nimellä: ”Asuinrakennusten täydentävä suunnitteluoheje”, johon on kasattu määräykset täyttävät rakennekokonaisuudet ja uudet liitosdetaljit. Rakennustarkastusyhdistyksen johtokunta on antanut suosituksen 60 m<sup>3</sup>:n tilavuusrajoituksen käyttämisestä kenttämittaustuloksia laskettaessa. (Suositus ääneneristysten mittaamisesta 2010.)

## 6 LAITTEIDEN ASENNUS JA ILMASTOINTIKANAVIEN ÄÄNENERISTYS

Tässä kappaleessa tarkastellaan ilmastointilaitteiden aiheuttamaa äänitasoa, sekä ilmastointikanavien kautta asuinhuoneistoihin kulkeutuvia ääniä. IV-konehuone suunnitellaan usein kerrostalon katolle, joten se osuu todennäköisesti ainakin osittain asuinhuoneiston päälle. IV- konehuoneet voidaan toteuttaa joko paikalla rakentaen tai kokonaisuutena elementtinä. Ainoana ongelmana ei ole pelkästään koneista aiheutuva tärrinä, vaan myös ilmastointikanavia pitkin kulkeutuva ilmaääni. IV-laitteet ovat liik-

teen kanssa tavallisimmat häiriötä aiheuttavat tekijät rakennuksissamme. Tämän takia IV-laitteiden meluntorjunnalla päästään tehokkaasti parantamaan kerrostalon äänitekniistä tasoa. (Halme 1976, 332.)

## 6.1 Ilmavirtauksen ääni

Pyörteinen ilmavirtaus venttiileissä ja ilmanvaihtokanavistossa synnyttää ääntä. Ilmanvaihtokanavia pitkin ääni voi kulkeutua huonetilasta toiseen ja siten huonontaa eristystä huoneiden välillä. Äänen siirtyminen voi tapahtua muun muassa kanavan kevyttä seinämää pitkin huoneesta toiseen, kanavaseinän läpi rakenteeseen ja sitä kautta huoneesta toiseen tai heikosti tiivistettyjen lävistysaukkojen kautta huoneesta toiseen. (Halme & Halme-Salo 2003, 226–227.)

Taulukko 7. Rakennuksen LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttama suurin sallittu äänitaso asunnossa (Ympäristöministeriö 1998.)

	$L_{a,eq,T}$ (dB)	$L_{a,max}$ (dB)
- Keittiö	33	38
- Muut asuinhuoneet	28	33

## 6.2 IV-laitteiden ääneneristysten toteuttaminen

Ilmastointilaitteiden äänenhallinta rakennushankkeessa vaatii painehäviölaskelmat. Ilmastointisuunnittelija laatii laskelmat, jotka lähetetään akustiselle suunnittelijalle. Laskelmien lisäksi toimitetaan ilmastointijärjestelmään liittyvien lauhduttimien, jäähdytyskoneiden, puhaltimien, säätölaitteiden, päätelaitteiden ja kanavaosien äänitiedot, laiteluettelot sekä ilmanvaihdon taso- ja konehuonepiirustukset. Ilmastointilaitoksen äänenhallinnan suunnittelu kuuluu ilmanvaihtosuunnittelijalle, mutta akustinen suunnittelija tarkistaa ilmanvaihtosuunnittelijan toimittamien tietojen perusteella konehuoneen rakenteiden ääneneristyskyvyn, ilmavirran nopeudet sekä puhallinäänestä, säätölaitteista ja päätelaitteista sekä rakennuksen muista LVIS-laitteista vaativimpiin tiloihin yhteensä syntyviä äänitasoja. (Kylliäinen 2007, 32.)

### 6.3 Joustavat liittimet

LVI-laitteisiin joudutaan aina liittämään sähköjohtoja, putkia ja ilmanvaihtokanavia. Vaikka koneen tärinäneristys olisi suunniteltu ja toteutettu muuten oikein, ei lopputulos ole kuitenkaan riittävä, jos tärinä pääsee kulkeutumaan edellä mainittuja reittejä pitkin. Tärinän siirtyminen voidaan estää käyttämällä joustavia liittimiä, joiden jousto on suurempi kuin varsinaisien tärinäeristimillä. Sähköjohdot tulee liittää taipuisaa johtoa käyttäen siten, että johto muodostaa vapaasti riippuvan silmukan. Ilmavaihtokanat liitetään puhaltimiin joustavin kangas- tai muoviliittimin. Kumiliittimiä valmistetaan sekä luonnonkumista että tekokumista tai näiden yhdistelmästä. Kumiliittimellä päästään hyvään ääneneristykseen, kun se asennetaan oikeaoppisesti. Ohuet putket muodostavat vapaasti riippuvan silmukan ja paksummat putket asennetaan yleensä suorina tai apukappaleen avulla. Esimerkiksi 20 cm:n pituinen kumiliitin alentaa äänenpainetasoa 17 dB, 500 Hz:n taajuudella. (Halme 1976, 206–208.)

Ensimmäiset 60-luvulla markkinoille tulleet joustavat liittimet saivat huonon maineen, koska alkuperäisten metalliliittimien paikalla käytettiin halvempia kumiliittimiä, joita ei ollut suunniteltu kyseiseen käyttötarkoitukseen. Nämä kumiputkiliittimet päästivät vesihöyryä lävitseen aiheuttaen vesivuotoja ja korroosiovaurioita. Tosiasiassa letkuliittimet eristävät kuitenkin tehokkaasti äänen kulkeutumista asunnosta toiseen. Äänen ei tarvitse olla isku patterilinjaan, vaan esimerkiksi koiran haukunta saa ilman ja sitä kautta patterin värähtelemään. Ääniaalto siirtyy patterilinjaa pitkin runkoäänenä ja muuttui sitten takaisin ilmaääneksi. (Halme 2010).

Kumiliittimien käyttö täytyy tarkoin arvioida ja varmistua niiden soveltuvuudesta erikseen kuhunkin käyttökohteeseen. Pelkkä lämmönkestävyys ei yksin riitä sillä kumiliittimeltä vaaditaan myös vesihöyrytiiveyttä. Pitkällä aikavälillä tapahtuva kondenssi putken pinnalla voi aiheuttaa vahinkoja. Asennustyössä on aina noudatettava valmistajan antamia ohjeita suurista paineen- ja lämpötilankestävyydestä, liikkumara- jasta sekä pienestä kaarevuussäteestä. (Halme 1976, 206–208.)

Metalliliittimiä valmistetaan useista eri materiaaleista, kuten ruostumattomasta teräksestä, kuparista, pronssista, sinkitystä teräksestä tai alumiinista. Metalliliittimillä voidaan päästä jopa 800 °C:n lämmönkestävyyteen sekä korkeaan paineen- ja kemialliseen kestävyys. Vaikka metalliliittimillä voidaan hallita vaativia olosuhteita, äänieristyk-

sessä kovasta paineesta jännittynyt metalliliitin ei toimi toivotulla tavalla. Tästä syystä metallirakenteita yhdistetään usein muoviletkuihin, jolloin saavutetaan hyvät ominaisuudet molemmista materiaaleista. (Halme 1976, 209–210.)

#### 6.4 Joustavat värinäeristimet

Värinäeristimillä tarkoitetaan teräsrousia, teräskiskoja tai kumilevyjä, joita käytetään laitteiden ja alustan välissä värinän vaimentamiseen, jotta alustaan välittyvä energia saadaan vaimennettua. Värinäeristimen toiminta perustuu kitkahäviöihin ja energian takaisin palautumiseen. Värinäeristimet on suunniteltava aina yksilöllisesti huomioiden koneen taajuus ja paino. Yleinen mielikuva värinäeristimistä on musta kumimatto, joka voidaan laittaa paikkaan kuin paikkaan. Värinäeristimille on kuitenkin olemassa reunaehdot, jotka määrittelevät vaimenemisen määrän. Väärin mitoitetulla ja toteutetulla värinäeristimellä ei saavuteta merkittävää parannusta ääneneristyksessä. (Halme 2010.)

Rakenteellinen sauma voi tietyissä tapauksissa olla vaikea tehdä. Tämän vuoksi värinäeristys voidaan tehdä myös joustavilla värinäeristimillä. Värinäeristiminä käytetään yleensä kumi- tai teräsrousia. Jouset on mitoitettava aina tapauskohtaisesti huomioiden koneen massa ja taajuusalue. Väärin mitoitettu värinänvaimennin voi olla haitallinen kantavalle rakenteelle, koska se voi aiheuttaa resonanssimuutoksia. (Halme & Halme-Salo 2003, 220.)

#### 6.5 Värinäeristimien suunnittelu

Kaikki värähtelevät laitteet, jotka on kiinnitetty tai ovat muuten kosketuksessa rakenteisiin, aiheuttavat runkoääntä. Runkoäänien etenemistä voidaan estää siten, että jokaiseen laitteeseen asennetaan värinäeristimet. Runkoäänien taajuudet vaihtelevat voimakkaasti äänilähteen mukaan. Värähtelyä aiheuttavat koneiden taajuudet ovat yleensä 5–1 000 Hz. Akustisesti eristetyt huoneet, kuten kotiteatteriteatterihuoneet, rakennetaan yleensä kelluvan lattiarakenteen varaan. Ilmastointikoneen tai minkään muunkaan värisevän koneen kohdalle tätä ei kuitenkaan saa tehdä. Tämä johtuu siitä, että värinää aiheuttava kone ja kelluva lattiarakenne voivat sattumalta saada saman ominaisvärähtelytaajuuden, jolloin systeemi ajautuu resonanssiin. Resonanssi vahvistaa värähtelyn voimakkuutta, jolloin värinäeristys menettää merkityksensä. Nyrkkisääntö-

nä voidaan pitää, että tärinäeristimien painuman täytyy olla vähintään 100 kertaa suurempi kuin alustan painuma. (Kylliäinen 2007, 216–220.)

## 6.6 Tärinäeristyksen mitoittaminen

Koneiden ja laitteiden liikkuvat osat aiheuttavat voiman, joka pyrkii siirtymään ympäröiviin rakenteisiin, ellei etenemistä pystytä katkaisemaan. Laitteen kierrosluvun kasvassa pyörimisliikkeestä aiheutuu yhä suurempi voima, joka on suurimmillaan silloin, kun laitteen kierrosluku on yhtä suuri kuin värähtelyjärjestelmän ominaistaajuus  $f_0$  [Hz]. Värähtelyjärjestelmän ominaistaajuudella tarkoitetaan sitä taajuutta, mikä saavutetaan kyseisellä ratkaisulla, eristimillä tai ilman. Tärinäeristyksen toiminta perustuu energiahäviöihin ja sen kykyyn heijastaa energiaa takaisin koneeseen, mikä pienentää alustarakenteeseen kohdistuvaa energiaa. Näiden yhteisvaikutuksesta riippuu, kuinka suureksi alustaan kohdistuva voima kasvaa. Jos häviöitä ei ole, alustaan siirtyvä voima kasvaa resonanssitaajuudella hyvin suureksi. Kun kierrosluku kasvaa entisestään, alustaan siirtyvä voima alkaa pienentyä. (Kylliäinen 2007, 217.)

Toisin sanoen tärinäeristimet on mitoitettava alimman kierrosluvun mukaan, koska silloin värähtely on voimakkaimmillaan. Vaikka kierrosluku olisikin korkea, värähtelyä syntyy laajalta taajuusalueelta. Tämä johtuu siitä, että laitteen liikkuvien osien pinnat ovat mikroskoopilla tarkasteltuna aina hieman epätasaisia. Epätasaisuudet aiheuttavat laakerin pinnassa matalampia taajuuksia kuin kierrosluvun perusteella voisi päätellä. Yleinen virhe tärinäeristimiä mitoitettaessa on se, että koneen koko taajuusalue ja taajuusalueen muuttuminen jätetään huomioimatta. Tällainen tilanne voi tulla eteen esimerkiksi, jos ilmapirran voimakkuutta säädellään ilmastointikoneen taajuusmuuntimella. (Halme 2010.)

Useimmissa tapauksissa tärinäeristyksen mitoittaminen on melko yksinkertaista: kantavan rakenteen tulee olla jäykkä ja sen massa suurempi kuin koneen ja alustan paino. Tärinäeristyksen periaatteena on, että koneen alimman herätetaajuuden ja koneen ominaistaajuuden suhde on vähintään 2,5...3, kuten kaavassa 10 on esitetty. Ominaistaajuuden tulee kuitenkin olla vähintään 8 Hz. Näin ollen saavutetaan äänieristystä ihmisen koko kuuloalueella. Tärinäeristin voidaan valita pinta-alan mukaan (matto-tyyppinen eriste), pituuden (listatyyppinen eristin) tai lukumäärän mukaan, jotta niitä

voidaan kuormittaa koneen ja alustan yhteisellä painolla. (Halme & Halme-Salo 2003, 220.)

$$\frac{f}{f_0} \geq 2,5 \quad (10)$$

## 7 TUTKIMUSTEHTÄVÄT JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Opinnäytetyössä tutkittiin ilmastointikonehuoneen aiheuttamaa melua konehuoneen alapuolella sijaitsevaan asuntoon. Viime aikoina valmistuneissa elementtirakenteisissa kerrostaloasunnoissa on havaittu häiritsevää melua, joka on saanut asukailta negatiivista palautetta. Opinnäytetyön tarkoitus oli kartoittaa melun aiheuttaja ja pohtia korjaustoimenpiteitä asunnon äänitason madaltamiseksi.

Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelminä on käytetty äänimittauksia, kirjallisuutta ja haastatteluja. Äänimittaukset suoritti Insinööritoimisto Helimäki Oy yhdessä marraskuussa 2010 valmistuneessa eteläsuomalaisessa kerrostalo-osakeyhtiössä. Työn ohjaaja Ilkka Paaajanen Kymenlaakson ammattikorkeakoulusta järjesti mahdollisuuden haastatella työtäni varten tekniikan tohtoria h.c. Alpo Halmetta, joka on ollut johtava akustiikan tutkija Suomessa 1970-luvulta lähtien. Hänen kirjoittamansa kirjat ja ajatukset akustiikasta ovat luoneet tämän tutkimuksen perustan.

Yleisin käytetty ilmanvaihtojärjestelmä on niin sanottu keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä, jossa ilmastointikonehuone sijoitetaan kerrostalon katolle ja sieltä yhdellä ilmanvaihtolaitteistolla ohjataan kaikkien asuntojen ilmanvaihtoa tekniikkahormien välityksellä. Tiukentuneiden energiamääräysten myötä myös taloteknisiä laitteita on kehitetty. Etenkin lämmöntalteenottojärjestelmän tehokkuus on tärkeä osa rakennuksen energiatehokkuutta. Markkinoilla on käytössä joko elementtirakenteisia IV-konehuoneita tai paikalla rakennettuja malleja. Elementtirakenteisessa konehuoneessa ilmastointilaitteet on asennettu valmiiksi konehuoneen sisälle. Elementtirakenteisessa mallissa on erillinen teräksinen alapohjarakenne, seinät ja katto valmiina. Paikalla rakennetussa mallissa seinä ja kattoelementit tulevat valmiina työmaalle. Ennen koneiden asennusta ontelolaattakentän päälle on valettava 100 mm paksu pintabetoni. Paikalla rakennetussa ilmastointikonehuoneessa ulkoseinät lähtevät suoraan ontelokentän päältä, joten ääni voi kulkeutua helpommin ontelokentän läpi seinärakenteita pitkin.



Opinnäytetyössä tutkittiin myös porrashuoneen askeläänitasoa. Lähtökohtana oli tarkastella tärinäeristimien tarpeellisuutta porrashuoneen porrassyöksyjen ja kerrostasolaattojen liitoksissa. Betonikeskus ry:n periaatedetaljissa on esitetty ohjeita porrashuoneen elementtien liitoksiin, joiden mukaan myös kerrostasolaatat tulisi irrottaa rungosta tärinäeristimin, kuten liitteessä 3 on esitetty. Mittauskohteessa kerrostasolaatat oli kuitenkin kiinnitetty kantavaan runkoon ilman tärinäeristimiä, kuten liitteestä 4 voidaan havaita. Kerrostasolaatat ovat 260 mm vahvoja massiivibetonilaattoja, jotka ovat pintamateriaalina palo- ja ääneneristysvaatimukset täyttävä dB-matto Upfloor Estrad dB. Kohteen porras on kaksivartinen umpiporras, joka on kiinnitetty kantaviin rakenteisiin vain päistään. Porrassyöksyt on erotettu joustavasti rungosta runkoäänien estämiseksi (liitteet 1 ja 2). Lepotasolaatat oli kiinnitetty ilman tärinäeristimiä runkorakenteisiin (liite 5). Porrassyöksyjen askelmat ovat tummaa kiiltohiottua luonnonkiveä, jonka paksuus on 30 mm. Kerrostasoilla asunnon ja porrashuoneen välisen oven asennus oli tiivistetty huolellisesti. Karmin ja rungon väliin oli laitettu elastinen kitti, joka paransi ovirakenteen tiiveyttä.

Askeläänikokeen tekeminen aloitettiin lepotasolaatan päältä mutta se lopetettiin vain kahden sarjan jälkeen. Desibelimatto vaimensi iskut niin tehokkaasti, ettei koetta ollut tältä osin mielekäästä jatkaa. Mittauksia jatkettiin porrassyöksyn kivipintaisilta askelmilta. Askeläänitasot mitattiin yhteensä kuudesta eri kohdasta. Tässä tutkimuksessa esitetyt mittaluvut on johdettu mittaustuloksista Rakennustarkastusyhdistyksen RTY:n ohjeiden mukaan siten, että vastaanottohuoneen tilavuus on rajoitettu arvoon 60 m<sup>3</sup>. Äänilähteenä käytettiin standardisoitua askeläänikojetta. Askeläänitasot mitattiin vastaanottohuoneesta standardin ISO 140-7 mukaisesti. Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  määritettiin mittaustuloksista standardin ISO 717-2 mukaan. Porrashuoneen ja asuinhuoneen välisenä seinärakenteena on käytetty RTY:n mukaisesti 200 mm paksua teräsbetonielementtiä.

LVI-äänitason mittaus suoritettiin tarkkuusäänitasomittarilla Norsonic 118 A -painotettuna ja FAST- aikapainotettuna. Mittari kalibroitiin ennen ja jälkeen mittauksen. Mittarilla rekisteröitiin A-painotettu keskiaänitaso  $L_{A,eq}$  mittausajalta sekä mittausaikana esiintynyt vaihtelevan äänitason hetkellinen huippuarvo eli enimmäisäänitaso  $L_{A,max}$  (A-painotettuna). Mittaukset tehtiin olohuoneesta ja keittiöstä (liite 8), kummastakin kolme äänimittausta, joista yksi mittaus kesti 10 sekuntia. Suomen ra-

kentamismääräyskokoelman osan C1-1998 mukaan tyhjässä huoneessa saatavat mitaustulokset ovat noin 3 dB korkeammat kuin kalustetussa huoneessa. Mitatut huoneistot olivat tyhjiä, joten mitaustuloksista vähennetään 3 dB.

Mittauskohteen IV-konehuone oli elementtirakenteinen ja se oli nostettu paikalleen yhtenä kokonaisuena pakettina. IV-konehuoneen alustarakenteena oli 265 mm paksu ontelolaatta ja 100 mm paksuinen paikalla valettu teräsbetoni-laatta. IV-konehuone-elementtiin ja teräsbetoni-laatan väliin oli laitettu kumimatosta leikatut palat. Kumimatto ei ollut mitoitettu tapausta varten, koska oletuksena oli rakenteen toimiminen ilman kumipalojakin. (Sarkki 2010.) Mittaukset tehtiin kahdesta vierekkäisestä huoneistosta; sekä keittiöstä että olohuoneesta. Molemmat huoneistot olivat osittain ilmastointikonehuoneen alapuolella.

## 8 MITTAUSTULOKSET

Mitattu askeläänitasoluku porrashuoneesta huoneistoon täytti rakennusmääräyskokoelmassa esitetyt vaatimukset. Mitattu askeläänitasoluku oli 46 dB, joka on esitetty taulukossa 8. Mittaustulos alitti 17 desibelillä porrashuoneen ja asunnon välille asetetun askelääneneristysvaatimuksen,  $L'_{n,w} < 63 \text{ dB}$ . Taajuuskaistoittain mitatut normalisoidut äänitasot on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 8. Porrashuoneesta asuntoon mitattu askeläänitasoluku

Nro	Vaaka/ Pysty	Mistä	Mihin	$L'_{n,w}$ [dB]
1	P	Porraskäytävän kiviportaati	As B32 OH	<b>46</b>

Mitatut IV-äänitasoluvut molemmissa huoneistoissa sekä keittiöstä että olohuoneesta täyttivät rakennusmääräyskokoelmassa esitetyt vaatimukset. Saadut mitaustulokset ja vaaditut ääneneristävyydet on esitetty taulukossa 9. Huoneiston 38 olohuoneesta mitattu keskiäänitaso oli juuri sallitussa tasossa. Muilta osin mitaustulokset alittivat vaatimukset.

Taulukko 9. Asunnoista mitatut IV-äänitasot. Ensimmäiset kaksi saraketta kertovat mitatut tulokset, keskimmäiset kaksi saraketta tyhjän huoneen takia vähennetyt äänitasot sekä kaksi viimeistä saraketta Suomenrakennusmääräyskokoelman osan C1-1998 asettamat määräykset.

Mittauspiste	$L_{A,eq,T}$ [dB]	$L_{A,max}$ [dB]	$L_{A,eq,T}$ [dB] -3dB	$L_{A,max}$ [dB] -3dB	$L_{A,eq,T,vaad}$ [dB]	$L_{A,max,vaad}$ [dB]
Asunto 38 OH	31	33	28	30	28	33
	31	33	28	31		
	31	34	28	31		
Asunto 38 K	33	35	30	32	33	38
	33	36	30	33		
	34	37	31	34		
Asunto 39 OH	24	28	21	25	28	33
	24	30	21	27		
	24	27	21	24		
Asunto 39 K	26	28	23	25	33	38
	26	33	23	39		
	26	29	23	29		

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Porrashuoneen äänimittaustuloksen arvioinnissa huomio kiinnittyy reilusti vaatimukset alittaneeseen äänitasoon. Rakennusmääräyksissä asetettu suurin sallittu askeläänitaso porrashuoneen ja asuinhuoneen välille on 63 dB, joka on kaikista Rakennusmääräyksissä esitetyistä vaatimuksista alhaisin. Porrashuoneen askeläänitasovaatimus on siis 10 desibeliä alhaisempi kuin kerrosten välinen askeläänitasovaatimus. Mittauskohteen massiivisen betonikerrostaolaatan massa on noin 540 kg/m<sup>2</sup>, joka on noin 30 kg/m<sup>2</sup> enemmän kuin välipohjarakenteena käytetty 370 mm vahva ontelolaatta saumattuna. Kerrostaolaatan pinnassa käytetään desibelimattoa, jolla on parempi askelääneneristysominaisuus kuin välipohjarakenteessa käytetyllä parketti- ja alusmateriaalilyhdistelmällä.

Kerrostaolta tehty askeläänimittaus antoi vieläkin matalampia mittaustuloksia kuin askelmilta mitattu 46 desibeliä. Mittaustuloksen perusteella voidaan todeta, että kerrostaolaatan rakenneratkaisu on ääneneristyksen kannalta ylimitoitettu. Toisaalta rakenteiden ohentaminen kantavuuden kustannuksella ei ole mahdollista eikä merkittäviä kustannussäästöjä saada rakenteita ohentamalla, kun kyseessä on pieni määrä elementtejä kerrostalossa käytettyjen elementtien kokonaismäärään nähden.

Yhden porrastoimittajan ohjeiden mukaan joko porrassyöksyt tai kerrostasolaatat tulisi irrottaa joustavin tärinäeristimin kantavista rakenteista. Tämän tutkimuksen mittaustulosten perusteella voidaan päätellä, että tärinäeristimet voidaan jättää pois sekä porrassyöksystä että kerrostasolaatasta. Luotettavia johtopäätöksiä saamiseksi tulisi äänimittauksia suorittaa kuitenkin useampia ja myös kohteessa, jossa liitokset on toteutettu kokonaan ilman tärinäeristimiä. Teorian avulla päätelmä eristimien pois jättämiseksi perustuu niin sanottuun aaltovastuslakiin, jonka mukaan massa lisää ääniaaltoja vastustavaa kitkaa rakenteessa. Näin porrassyöksyyn muodostuva värähtelytaajuus on pienempi. Porrassyöksyn jäykkyys ja massa katkaisevat värähtelyn etenemisen tehokkaasti, koska askeleista aiheutuva isku on voimakkuudeltaan varsin heikko. Päätöksiä tärinäeristimien pois jättämiseksi tukee mittaustuloksen lisäksi myös se, että portaiden käyttö on vähäistä ja ääntä syntyy vain lyhyinä jaksoina.

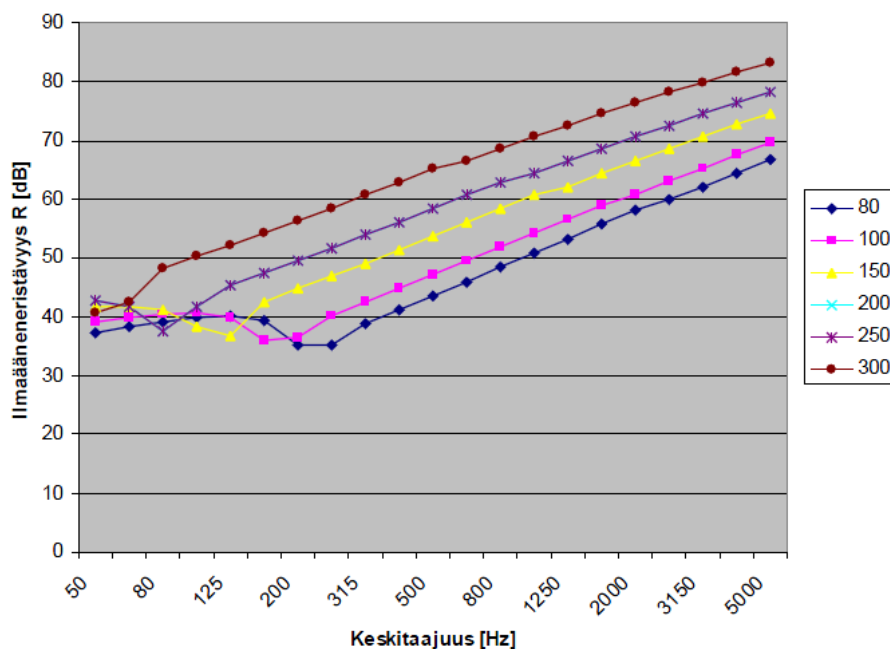
Tässä opinnäytetyössä ei tehty ilmajäännimittauksia porrashuoneesta asuinhuoneistoon. Aikaisemmin porrashuonetta sivuavan seinärakenteen paksuutena on käytetty 180 mm paksua betonielementtiä, mutta uusien Rakennustarkastusyhdistyksen tekemien tutkimuksien mukaan porrashuonetta sivuavan seinärakenteen tulisi olla vähintään 200 mm paksu betonielementti. Mittauskohteessa porrashuoneen ja asunnon välisenä seinärakenteena oli käytetty suositusten mukaista rakennetta, joten ilmajäännimittauksia tältä osin ei nähty tarpeelliseksi.

Ilmastointikonehuoneen aiheuttamaa melutasoa lähdettiin kartoittamaan tekemällä äänimittaukset kahdessa asuinhuoneistossa, koska IV-konehuone oli osittain molempien huoneistojen päällä. Liitteessä 8 on esitetty mittauskohteen pohjapiirustus ja IV-koneen sijainti asuinhuoneistoihin nähden sekä äänimittauspisteiden paikat ympyröillä (yhteensä 4 kpl). Pohjapiirustuksesta on havaittavissa, että IV-kone on suoraan asunnon 39 keittiön yläpuolella ja lämmöntalteenottojärjestelmän pumppuyksikkö on asunnon 38 eteisen yläpuolella.

Lähtökohdaksi ilmastointikonehuoneen melutason tutkimiselle tilaaja oli esittänyt ilmastointikonehuoneen ja asunnon välisen yläpohjarakenteen (liite 5). Liitteen yläpohjarakenne oli arvioitu liian ohueksi, mistä ääneneristysongelmien oletettiin johtuvan. Liitteessä kaatolattian paksuudeksi on määritelty 20–110 mm. Vaatimuksien täyttymiseen vaaditaan vähintään 50 mm vahva pintabetoni, 265 mm vahva ontelolaatta ja ää-

niluokiteltu pintamateriaali, kuten Betonteollisuus Ry:n uudessa välipohjarakennesuosituksessa on esitetty (liite 7).

Ilmastointilaitteiden toimintataajuusalue on alle 50 Hz. Kuten kuvasta 9 voidaan havaita, pintabetonin paksuuden vaikutus ilmaääneneristävyyteen alle 80 Hz:n taajuudella on hyvin pieni. Ilmaääneneristyksen parantamiseksi ilmastointikonehuoneen ja asuinhuoneiston välisessä rakenteessa pintabetonin paksuuden kasvattaminen 50 mm:stä on näin ollen tarpeetonta. Askelääneneristävyyden parantaminen välipohjan massaa kasvattamalla ei ole myöskään järkevää, koska tärinä etenee sivutiesiirtymän avulla välipohjiin liittyvien rakenneosien kautta.



Kuva 9. Ilmaääneneristävyys K30 betonilla taajuuden funktiona (Elementtisuunnittelu 2010, 7.)

Kun tarkastellaan äänimittauksen tuloksia taulukosta 9, havaitaan, että suurimmat äänitasot mitattiin asunnon 38 keittiössä ja olohuoneessa. Lähtöoletukseen nähden tulos on yllättävä, koska suurimmat äänitasot mitattiin kauimpana IV-koneesta. Mittaustuloksien perusteella voidaan yläpohjarakenteen ääneneristävyysoongelma sulkea pois laskuista. Seuraavaksi mahdollisena melunaiheuttajana tarkasteltiin lämmöntalteenottojärjestelmän pumppuyksikköä. Mittauskohteessa pumppu sijaitsee eteisessä. Rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaisesti äänimittauksia ei huomioida kuin keitti-

östä ja olohuoneesta. Korvakuullolla tarkasteltuna voitiin kuitenkin todeta, että eteisessä äänitaso ei tuntunut häiritsevän voimakkaalta.

Iteroimalla ongelmanaiheuttajia jäljelle jäi vielä ilmastointikanavia pitkin kulkeva ääni. Asuntojen pohjapiirustuksiin lisättiin ilmanvaihtopiirustuksesta ilmastointikanavien sijainti (liite 9 ja 10). Punaisella katkoviivalla piirretyt ilmastointikanavat ovat tuloilmakanavia ( $\varnothing$  315 mm) ja keltaisella katkoviivalla piirretyt kanavat ovat poistoilmakanavia ( $\varnothing$  200 mm). Kanavaan koneellisesti siirrettävän ilmamassan virtausnopeus on noin 350 l/s. Liitteestä 9 on havaittavissa, että keittiö ja olohuoneen päällä ilmastointikanavien suuntaa oli muutettu kahdella peräkkäisellä 45 asteen mutkakappaleella. Suurimmat äänitasot mitattiin näiden mutkakappaleiden kohdalla.

Ilmastointikoneen ja tuloilmakanavien liitoksessa käytetään äänenvaimentimia, jotka estävät ilmastointikoneen aiheuttaman äänen siirtymistä ilmastointikanavistoon. Taulukosta 10 voidaan todeta, että lähellä IV-konetta, asunnossa 39 mitatut äänitasot ovat kaikista mitatuista äänitasoista matalimmat. Äänenvaimentimien voidaan todeta toimivan halutulla tavalla. Taulukosta 9 voidaan laskea keskiäänitasot jokaisesta mittauspisteestä. Laskettujen keskiäänitasojen mukaan voidaan havaita, että jokainen mutkakappale lisää äänitasoa 2–6 desibeliä. Asunnon 39 päällä on ilmastointikanavassa käytetty 90 asteen mutkakappaletta, joka aiheuttaa noin 2 desibelin äänitason nousun. Koneesta tuleva äänitaso on tässä vaiheessa vielä niin matala, jotta tämän mutkakappaleen aiheuttama äänitason nousu ei aiheuta vielä ongelmaa. Asunnon 38 päällä kahden peräkkäisen 45 asteen mutkakappaleen kohdalla keskimääräinen äänitaso nousee lähes 8 desibeliä. Asunnon 39 keittiön yläpuolella kulkee yhteensä neljä ilmastointikanavaa (kolme tuloilmakanavaa ja yksi poistoilmakanava) ja kaikkien kanavien suuntaa muutetaan mutkakappaleella mittauspisteen kohdalla. Mutkakappaleiden käyttö on usein välttämätöntä, muuta niiden oikealla sijoittelulla voitaisiin saavuttaa parempi lopputulos. Vaihtoehtona äänitason madaltamiselle voisi olla äänenvaimentimen käyttö mutkakappaleen jälkeen, jolloin noussut äänitaso saataisiin madallettua.

Vertailukohteessa ongelmaa kartoitettiin asukkaan tekemän ilmoituksen perusteella. Vertailukohteessa konehuone oli mittauskohteesta poiketen asennettu suoraan yläpohjaonteloiden päälle. 100 mm pintabetonivalu oli valettu IV-konehuoneen asennuksen jälkeen konehuoneen sisäpuolelle. Pintabetonivalu oli irrotettu seinärakenteista irrotuskaistalla. Irrotuskaista estää koneiden tärinän etenemisen seinärakenteen kautta

alapuoliseen asuntoon, mutta koneiden aiheuttaman ilmaäänien kannalta tilanne on toisenlainen. Koska pintabetonivalu ei ulotu seinärakenteen alle, seinärakennetta pitkin kulkeutuvia ääniaaltoja eristää ainoastaan 265 mm vahva ontelolaatta. Liitteessä 11 on esitetty pohjapiirustus, jossa on kuvattu vertailukohteen IV-konehuoneen sijainti alapuolisiin asuntoihin nähden. Asukas oli ostanut kaksi vierekkäistä asuinhuoneistoa, jotka oli yhdistetty yhdeksi suureksi asunnoksi (B42) purkamalla huoneistot erottanut väliseinä. Asukas oli reklamoinut työnjohdolle piinaavasta äänestä, joka teki hänen mukaansa nukkumisesta vaikeaa. Syyksi työnjohto arveli lämmöntalteenottojärjestelmän glykolipumppua, vaikka pumppu sijaitsee huomattavan kaukana makuuhuoneista. Pumppu oli asennettu kahden kalkkikiven päälle konehuoneen lattialle (liite 12). Tiiliskiven ja lattian välissä oli käytetty mustaa kumimattoa, jota ei ollut mitoitettu toimimaan varsinaisena tärinäeristimenä. Pumpun ja tiiliskiven välissä ei ollut käytetty vaimentavaa materiaalia.

Työmaa ratkaisi ongelman rakentamalla pumpun ympärille ääneneristyskotelon mineraalivillasta, joka oli jätetty avoimeksi yläpuolelta (liite 12). Lisäksi pumpun ja tiiliskiven väliin asennettiin pikkusormen kynnen kokoiset kumimatonpalat. Asukkaankin mukaan äänitaso oli madaltunut siten, että häiritsevää ääntä ei enää kuulunut. Korjaustoimenpiteenä lisätyt kumimaton palaset eivät toimi varsinaisina tärinäeristiminä, mutta niillä voi olla oma merkityksensä lopputulokseen. Suurempi vaikutus koneen tuottaman ilmaäänien eristämiseen oli ääneneristyskotelolla. Mineraalivilla absorboi tehokkaasti koneen tuottamaa melua, kun se saatiin asennettua lähelle melunlähdettä. Ääniaallot eivät päässeet leviämään huonetilaan ja siitä edelleen asuntoon.

## 10 POHDINTAA JA JATKOTUTKIMUSMAHDOLLISUUKSIA

Porrassyöksyjen liitoksen perusteellisen tutkimisen ja luotettavien johtopäätösten kannalta tulisi askeläänitasonmittaukset tehdä kohteessa, jossa syöksyt on asennettu ilman tärinäeristimiä. Tämän tutkimuksen perusteella tehty päätelmä, että kaikki eristimet voidaan jättää pois, on varsin rohkea kannanotto. Jos mahdolliset jatkotutkimukset osoittautuvat tässä työssä esitettyjen kaltaisiksi, työmaalle ja valmistajille saataisiin yhdenmukaiset ja akustisesti toimivat liitosratkaisut. Uusien asennusohjeiden avulla voitaisiin saada aikaan kustannussäästöjä sekä jouduttaa elementtiasennusta.

Tässä tutkimuksessa mukana olleiden ilmastointikonehuoneiden äänitasot johtuivat eri melunaiheuttajista. Vertailukohteessa korkea äänitaso johtui lämmöntalteenottojärjestelmän pumppuyksiköstä ja mittauskohteessa ilmastointikanavien mutkakappaleissa voimistuneesta ilmaäänestä. Vertailukohteen pumppu oli asennettu konehuoneen lattialle kalkkiahiekkakivien päälle ilman tärinäeristimiä. Pumppuyksikön asennukseen ja tärinäeristykseen tulisi kiinnittää jatkossa erityistä huomiota. Tuotekehitys on avainasemassa parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi, sillä jos kiireisellä työmaalla joudutaan miettimään tärinäeristimien mitoitusta tai koneen ilmaäänien eristämistä, lopputulos voi jäädä vertailukohteen kaltaiseksi. Vaikka pumppu saataisiin vaimennettua työmaaolosuhteissa, seurauksena voi olla pumpun käyttö- ja säätöominaisuuksien vaikeutuminen, jos vaimentamiseen tarvitaan koneen peittävä verhoilu. Parempiin tuloksiin voitaisiin päästä myös, jos IV-konehuone asennettaisiin elementtinä kokonaisuudessaan 100 mm vahvan pintabetonin päälle kuten mittauskohteessa. Tällöin myös seinärakennetta pitkin kulkeutuvat ääniaallot saataisiin eristettyä paremmin.

Jatkotutkimusaihe voisi olla yhteistyössä laitevalmistajan kanssa kehittää markkinoille pumppuyksikkö, joka ei tarvitse ympärilleen ääneneristyskotelo. Tärinäeristimien käyttö on luonnollista tärinää aiheuttavien laitteiden yhteydessä, mutta eristimien mitoitus tulisi suorittaa akustisella suunnittelijalla. Laitteiden aiheuttamalta ilmaääneltä voitaisiin välttyä käyttämällä absorboivaa materiaalia ilmastointikonehuoneen seinillä ja katossa. Koska mineraalivillaa käytetään valmiiksi jo seinärakenteessa, voitaisiin konehuoneen sisäverhouslevy jättää kokonaan asentamatta. Sekä ilmastointikonehuoneessa että ympäröivissä tiloissa saavutettaisiin samalla kertaa matalampi äänitaso.

Suomen rakennushistorian synkimmät hetket koettiin 1970-luvulla, koska rakennusten rakennusfysikaalista käyttäytymistä ei tunnettu riittävän tarkasti. Akustiikkaan liittyvää tietoa ja tutkimuksia on ollut saatavilla jo aikaisemmin, mutta sitä on hyödynnetty liian harvoin. Akustisesti tärkeät detaljit tulisi ottaa tulevaisuudessa tarkemman pohdinnan alaiseksi. Asuntojen hinnat ovat nousseet niin korkealle tasolle, että ihmiset haluavat rahoilleen myös vastinetta. Kerrostaloasuntojen markkinoinnin kannalta kohteet, jotka on suunniteltu ja toteutettu ääniteknisesti laadukkaasti, ovat etulyöntiasemassa myös asuntomyynnin näkökulmasta. Asuntojen akustinen suunnittelu ei ole tulevaisuudessa enää vaihtoehto vaan kaikilla on oikeus rauhalliseen kotiin.



## PAINETUT LÄHTEET

Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation (ISO 717–1:1996).

Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation (ISO 717–2:1996).

Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms (ISO 140-4:1998).

Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors (ISO 140-7:1998).

Ampuja, O. 2007. Melun sieto kaupunkielämän välttämättömyytenä. Helsinki: Hakapaino Oy.

Borenius J, Lampio E, Pesonen K, Jauhiainen T, Nuotio J, Pyykkö I. 1981. Akustiikan perusteet. Helsinki: Insinööritieto Oy.

Halme, A. 1976. Rakennus- ja huoneakustiikka. 3. painos. Espoo: Otakustantamo.

Halme, A. & Halme-Salo, E. 2003. Ääneneristyksen toteuttaminen. Vammala: Kirjapaino Oy.

Halme, A & Seppänen, O. 2002. Ilmastoinnin äänitekniikkaa. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Hemilä, S. & Utriainen, J. 1991. Värähtelyt ja aallot. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Kylliäinen, M. 2007. RIL 243-1-2007 Rakennusten akustinen suunnittelu. Helsinki: Hakapaino Oy.

Mäkelä, S. 1999. Tekninen eristäminen. Helsinki: Hakapaino Oy.

Malinen, U. 1977. Ääneneristys kerrostaloissa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo: VTT Offsetpaino.

Rakennusteollisuus 2009. Rakennuksen ääneneristys, RakMk C1:n tulkinnat ja asuinrakennusten rakennesuositukset. Tiedote 29.9.2009.

RIL 129: Ääneneristysten toteuttaminen 2003. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Vammala: Kirjapaino Oy.

Rossing, Thomas D. 1983. The Science Of Sound. Canada: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan kirjapaino Oy.

SFS 5100. Akustiikan sanasto. Suomen Standardisoimisliitto, 1985. Helsinki.

Sipari, P. 2003. Ympäristöministeriö. Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mittaaminen. Helsinki: Edita Prima Oy.

Ympäristöministeriö 1998. Suomen Rakentamismääräyskokoelma C1. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Helsinki.

## PAINAMATTOMAT LÄHTEET

Audiokirja 2010. Saatavissa: <http://ari.lepoluo.to/audiokirja/> [viitattu 9.9.2010].

Betoniyhdistys 2010. Saatavissa: [http://www.betoniyhdistys.com/aanitekniset kortit](http://www.betoniyhdistys.com/aanitekniset_kortit). [viitattu 3.9.2010].

Elementtirakentaminen 2010. Saatavissa:  
<http://www.betoni.com/fi/Elementtirakentaminen/suunnittelu/> [viitattu 18.11.2010].

Elementtisuunnittelu 2010. Saatavissa  
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/aaneneristys/teoria> [viitattu 8.9.2010].

Event Solution 2010. Saatavissa: [http://www.event-solutions.com/magazine/april\\_2008/say\\_what](http://www.event-solutions.com/magazine/april_2008/say_what) [viitattu 7.9.2010].

Kansanterveyslehti 2/1992. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos 2010. Saatavissa:  
<http://www.ktl.fi> [viitattu 12.9.2010].

Suositus ääneneristysten mittaamisesta 2010. Saatavissa:  
<http://www.rakennustarkastusyhdistys.fi/uutiset>. [viitattu 18.10.2010].

Thermowood 2010. Saatavissa: <http://www.thermowood.fi/> [viitattu 2.1.2010].

Valtion ympäristöhallinto 2010. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi> [viitattu 11.8.2010].

## HAASTATTELUT

Halme Alpo (Tekniikan tohtori h.c.) ja Halme-Salo Eija (Arkkitehti SAFA), haastattelu Vantaalla 3.10.2010.

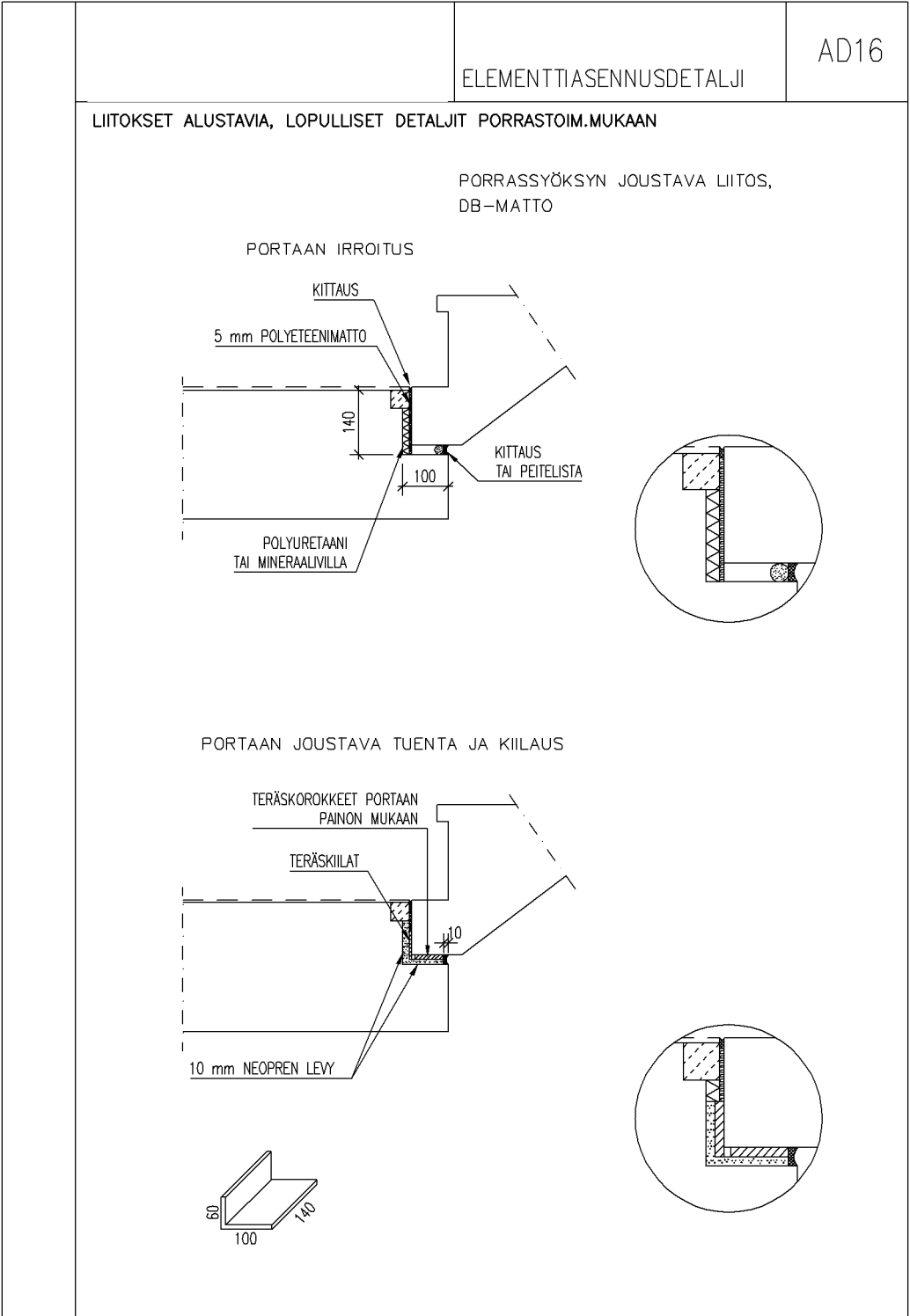
Markkula Timo (Työpäällikkö YIT), puhelinkeskustelu 10.9.2010 klo 15.10

Sarkki Jari, (IV-työnjohtaja YIT), puhelinkeskustelu 23.11.2010 klo 14.45

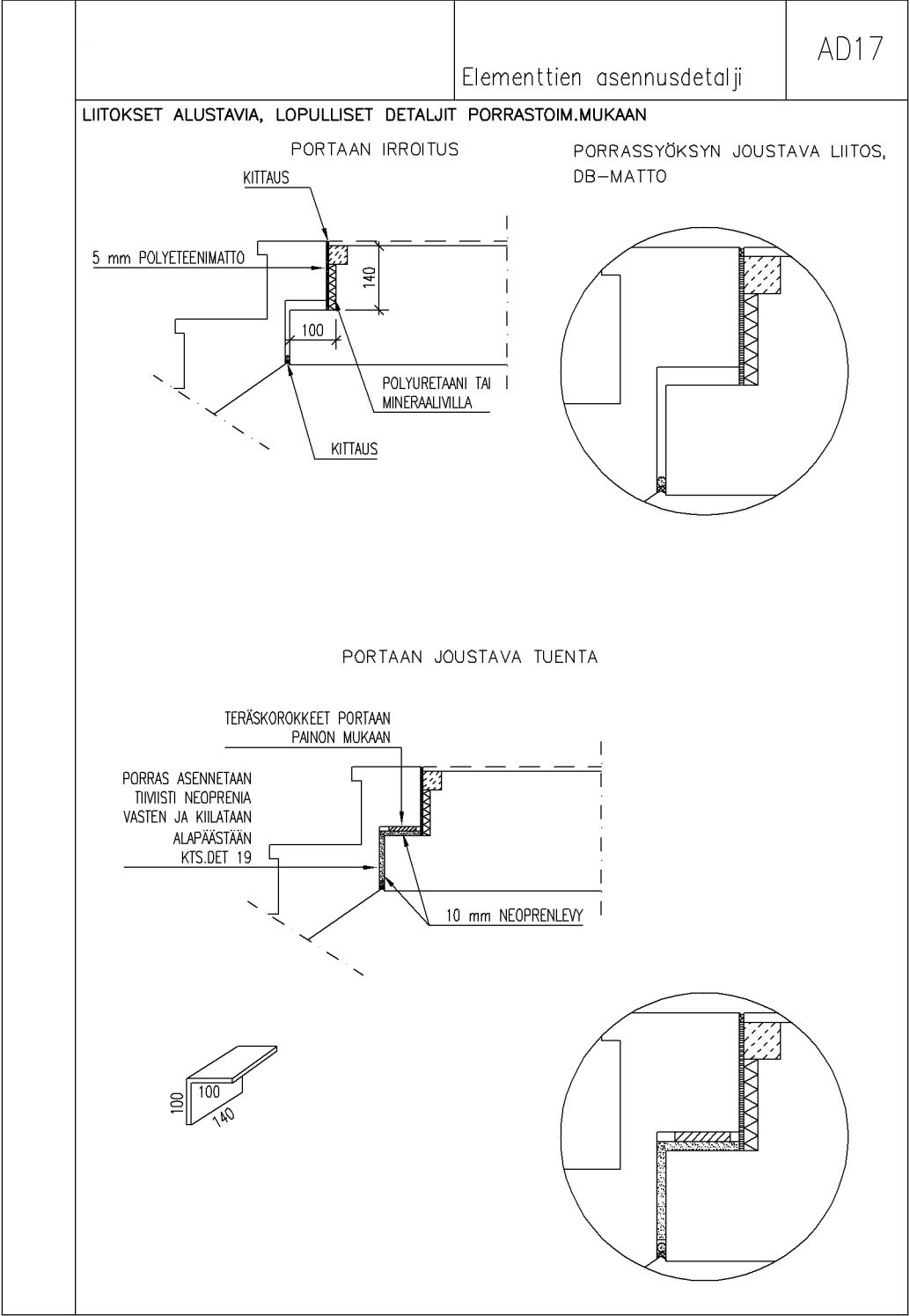
## LIITTEET

- LIITE 1: Porrassyöksen asennusdetalji (mittauskohteen detalji)
- LIITE 2: Porrassyöksen asennusdetalji (mittauskohteen detalji)
- LIITE 3: Lepotasolaatan- ja ontelolaatan liitos kantavaan seinään (periaatedetalji)
- LIITE 4: Lepotasolaatan kannatus kantavasta seinästä (mittauskohteen detalji)
- LIITE 5: IV-konehuoneen ja asunnon välinen detalji (tilaajan lähtötieto)
- LIITE 6: Taajuuskaistoittain mitatut askelääniäänitasot mittauskohteessa
- LIITE 7: Betonikeskus Ry:n määräykset täyttävä välipohja
- LIITE 8: IV-koneiden ja konehuoneen sijainti mittauskohteessa
- LIITE 9: Mittauskohteen ilmastointikanavat
- LIITE 10: Leikkauskuva mittauskohteesta
- LIITE 11: IV-konehuoneen sijainti vertailukohteessa
- LIITE 12: Vertailukohteen pumppu

LIITE 1 Porrassyöksen asennusdetalji (mittauskohteen detalji)



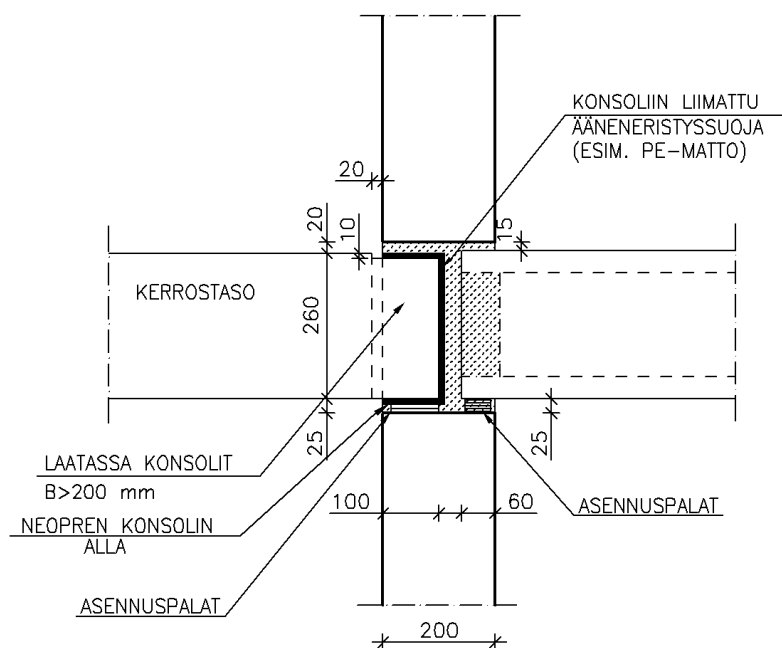
LIITE 2 Porrassyöksen asennusdetalji (mittauskohteen detalji)



### LIITE 3 Lepotasolaatan -ja ontelolaatan liitos kantavaan seinään (periaatedetalji)

Suunnittelija	Sisältö KERROSTASO –JA ONTELOLAATAN LIITOS KANTAVAAN SEINÄÄN ÄÄNENERISTYSKATKOLLA	
	Työn nro	
	Päiväys	Tekijä

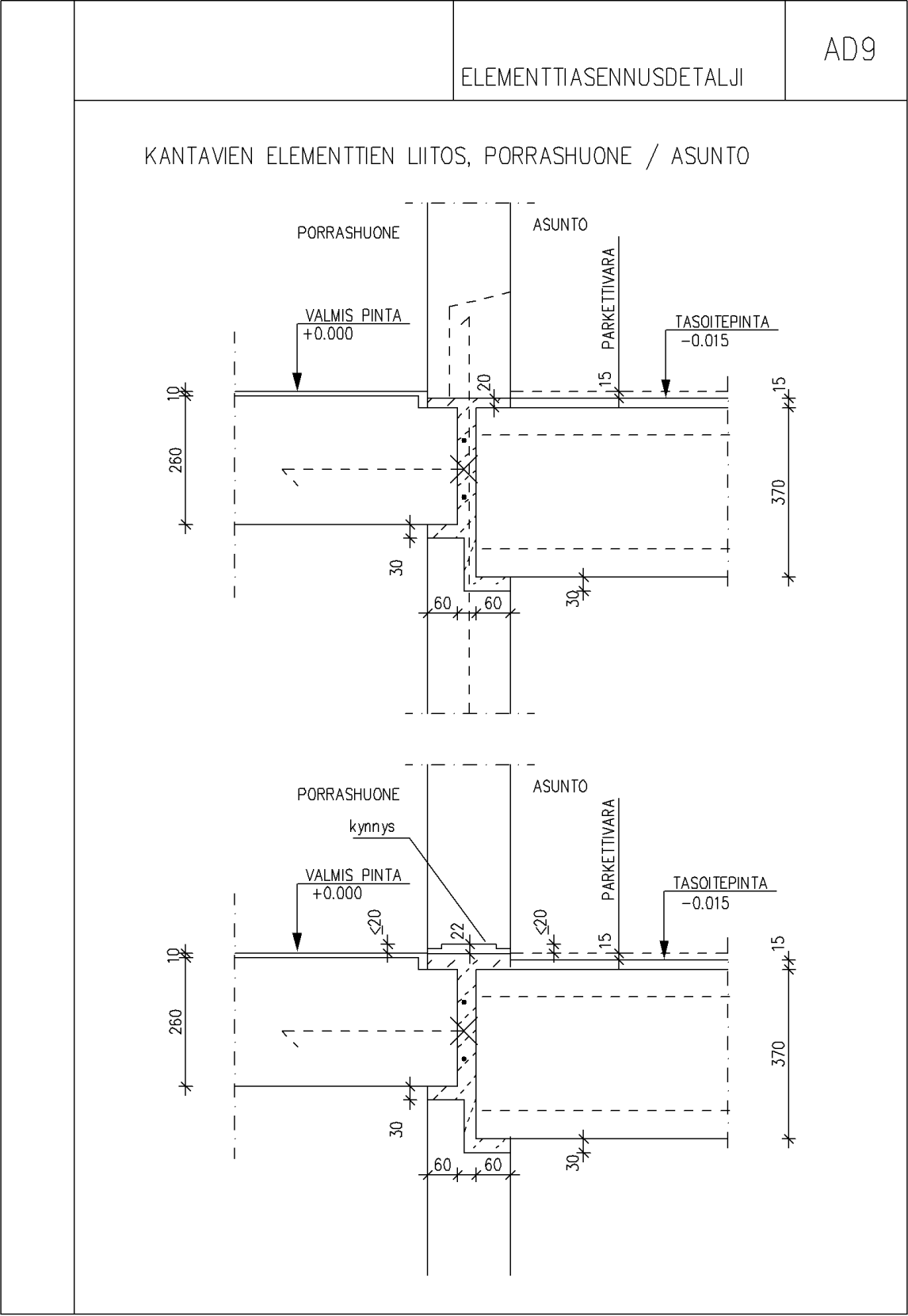
mittakaava 1:10



– TAULUKOSSA ON ANNETTU NEOPREENIN MINIMITUKIPINTA-ALA mm<sup>2</sup> RIITTÄVÄN ÄÄNENERISTÄVYYDEN SAAVUTTAMISEKSI, KUN TUEN KUORMA VAIHTELEE 20 JA 100 kN VÄLILLÄ JA NEOPREENIN KOVUUS ON IRH/Shore 60.

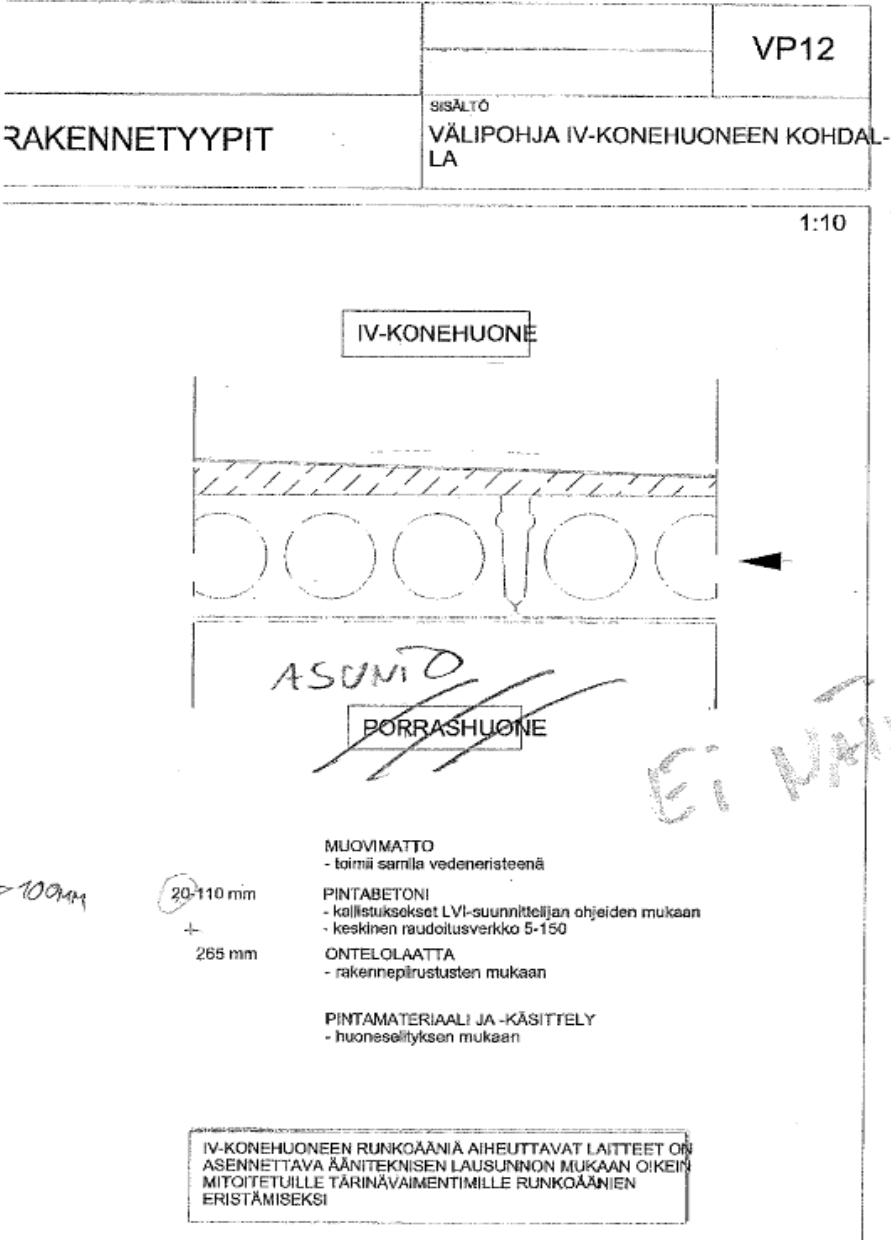
KUORMA [kN/tuki]	NEOPREENIN PAKSUUS, 6 [mm]	NEOPREENIN PAKSUUS, 8 [mm]
20	2400 mm <sup>2</sup>	3300 mm <sup>2</sup>
40	4000 mm <sup>2</sup>	4700 mm <sup>2</sup>
60	6000 mm <sup>2</sup>	6000 mm <sup>2</sup>
80	8000 mm <sup>2</sup>	8000 mm <sup>2</sup>
100	10000 mm <sup>2</sup>	10000 mm <sup>2</sup>

LIITE 4 Lepotasolaatan kannatus kantavasta seinästä (mittauskohteen detالji)





LIITE 5 IV-konehuoneen ja asunnon välinen detalki (tilaajan lähtötieto)



# LIITE 6 Taajuuskaistoittain mitatut askelääniäänitasot mittauskohteessa



**Raportti 3939-3a**  
15.11.2010  
**Liite 1**

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$



Mitattu kohde: Porraskäytävän kiviportaat  
mistä: As B32 OH  
mihin: VS: Asunnon ja porraskäytävän välinen betoniseinä 200 mm  
Erottava rakenne: VS: Asunnon ja porraskäytävän välinen betoniseinä 200 mm  
Mittausaika: 09.11.2010  
Mittaja: Matias Remes DI, Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-7

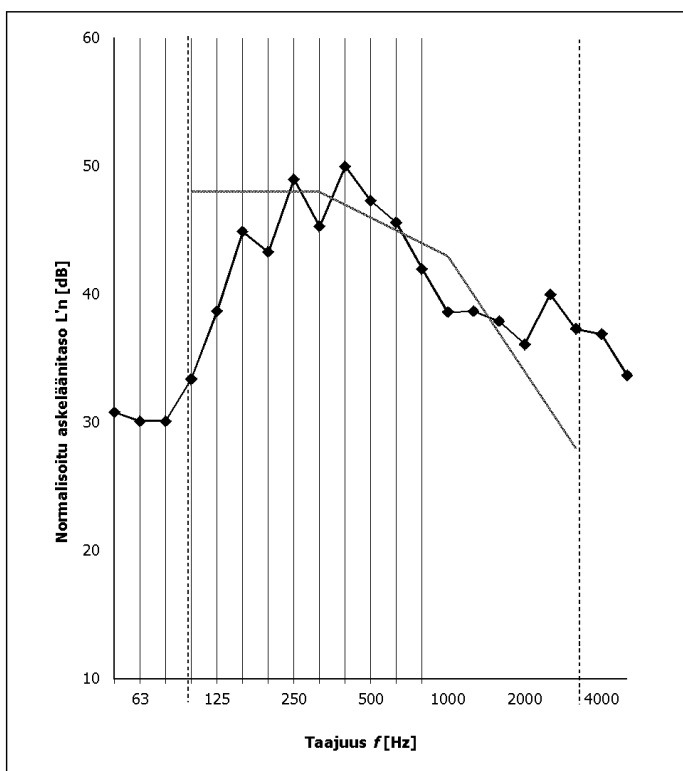
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on  $64 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$L'_{n,w}$ [dB]
50	30,8
63	30,1
80	30,1
100	33,4
125	38,7
160	44,9
200	43,3
250	49,0
315	45,3
400	50,0
500	47,3
630	45,6
800	42,0
1000	38,6
1250	38,7
1600	37,9
2000	36,1
2500	40,0
3150	37,3
4000	36,9
5000	33,7

—●— Mittaus  
— Vertailukäyrä  
ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):**

**46 ( -5 ; -5 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaaktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

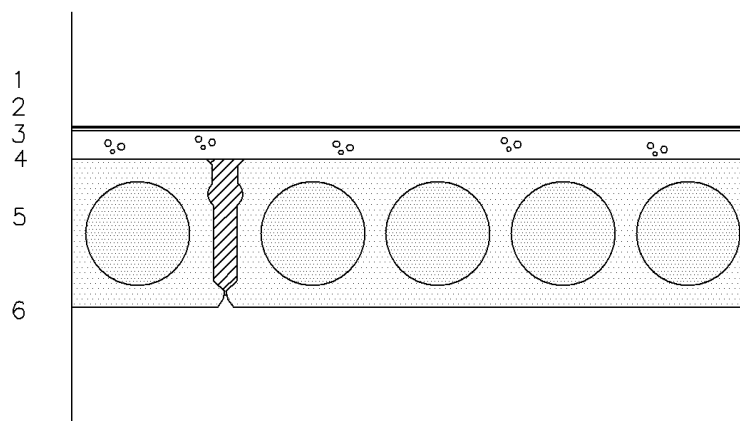
Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

Kansainvälinen Helsinki Helicon Oy ..... HELIMÄKI AKUSTIKOT - Helsinki ..... HELIMÄKI AKUSTIKOT - Tampere .....  
ALV REK 110:0441-4 KOTIPAINEN Tampereenkatu 6 B Pöytä +358 20 7119 590 Pöytä +358 20 7119 590 etunimi.makela@helimaki.fi  
YETUNUS 1942841-4 Viroat 00100 Helsinki Fax +358 0 5033 9961 Pöytä +358 20 7119 590 Fax +358 0 5160 121 www.helimaki.fi

## LIITE 7 Betonikeskus Ry:n määräykset täyttävä välipohja

Rakennuskohde	Sisältö ONTELOLAATTAVÄLIPOHJA O27 PINTABETONI	
Suunnittelija	Työ nro	VP 03
	Päiväys Tekijä	

Mittakaava 1:10



### Rakenne

- |   |   |
|---|---|
| 1 | Lattiapinnoite Upostep 25, Tapiflex 162 S(T), parketti + alusmateriaali (Tuplex, Parkolag) tai vastaava (tuotteen äänitekniset ominaisuudet osoitettava erikseen) |
| 2 | Mattoliima (tarvittaessa)   |
| 3 | Tasoite   |
| 4 | > 50 mm Pintabetoni, massa $\geq 120 \text{ kg/m}^2$  |
| 5 | 265 mm Kantava rakenne, ontelolaatta O27 rakennepiirustuksen mukaan. Massa saumattuna $380 \text{ kg/m}^2$  |
| 6 | Pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaan<br>Tasoite   |

### Ääneneristävyys

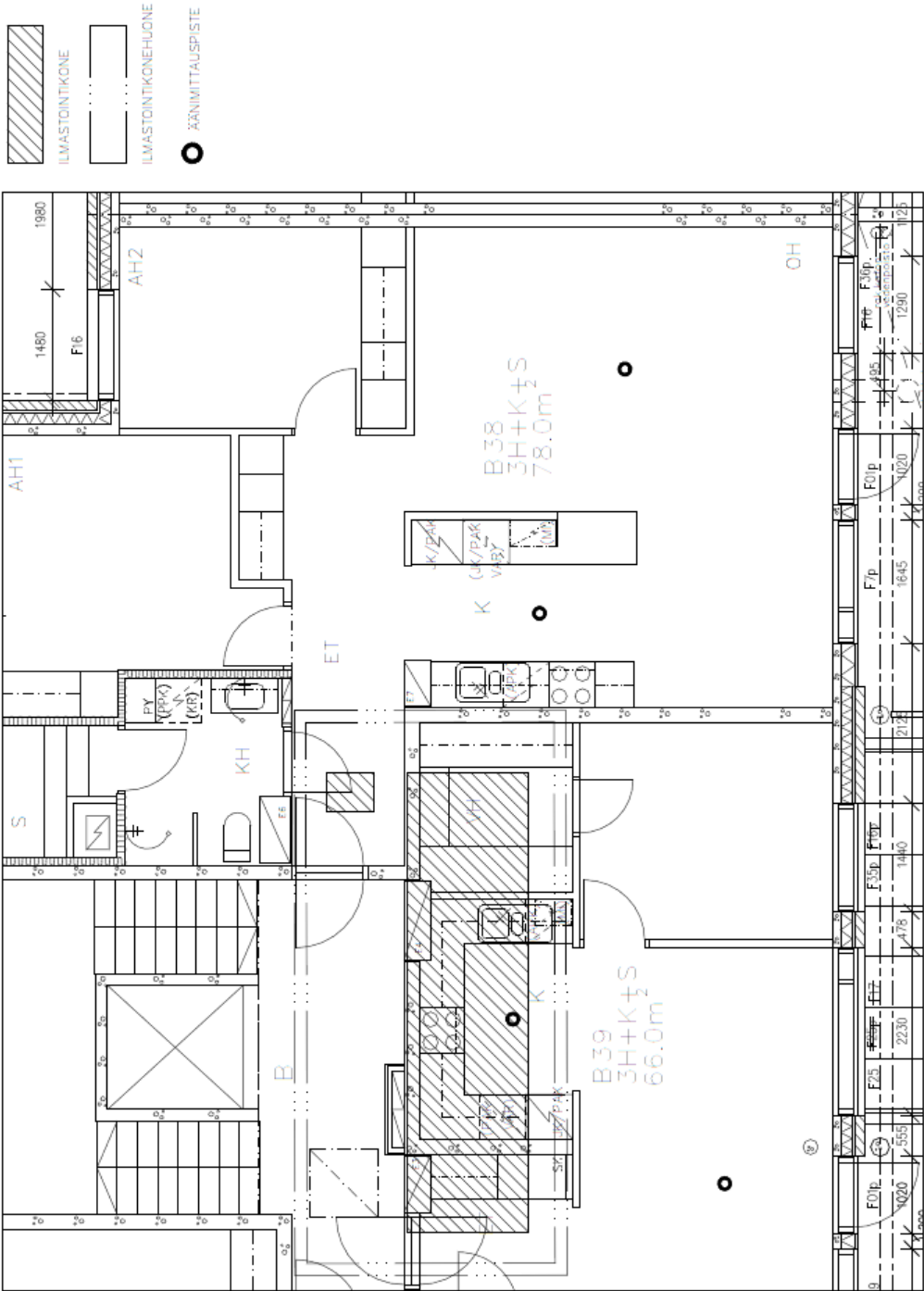
Rakenne yksin täyttää RakMK C1 1998 mukaiset ilma- ja askelääneneristävyysvaatimukset asuinrakennuksissa, muiden rakenteiden aiheuttama sivutiesiirtymä saattaa kuitenkin heikentää tuloksia kentällä. Katso suositellut rakenneyhdistelmät: "Asuinrakennusten ääniteknikka täydentävästä suunnitteluohjeesta".

### Rajoitukset ja huomioitavat asiat

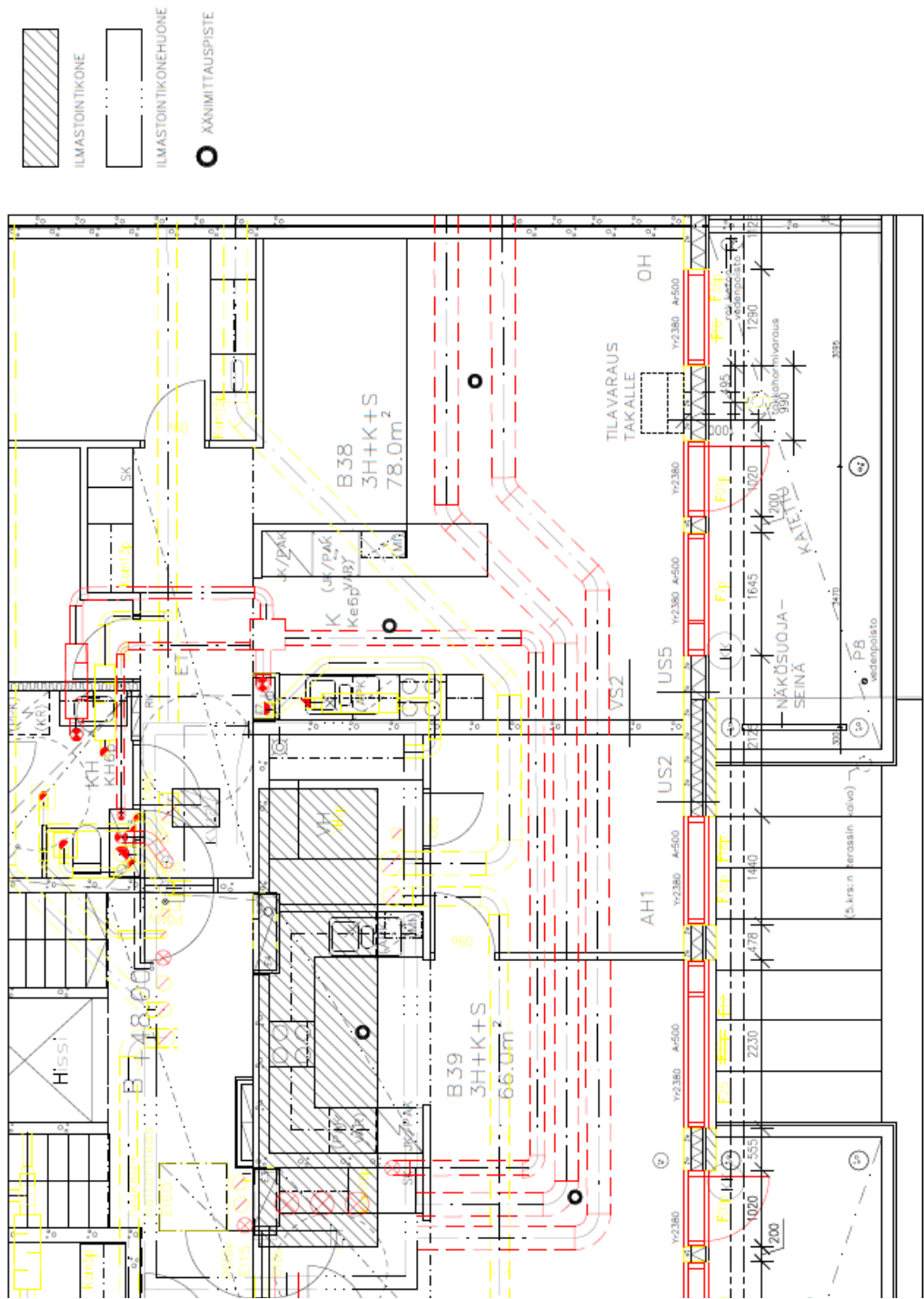
Sivuavien rakenteiden vaikutus ääneneristävyyteen huomioitava tilojen välistä ilma- tai askelääneneristävyyttä arvioitaessa. Pinnoitetta ei saa vaihtaa ääniteknisesti huonompaan eikä pinnoitteen päälle saa asentaa toista pinnoitetta. Rajoitukset merkittävä huoltokirjaan.

Ontelolaattojen pituussuuntaisissa saumoissa saa kannattamalla viedä enintään 2 sähköputkea  $\varnothing 20 \text{ mm}$ .  
Ontelolaattojen päätysaumoissa saa kannattamalla viedä enintään 3 sähköputkea  $\varnothing 20 \text{ mm}$ .  
Saumavalut on tiivistettävä huolellisesti, jotta saumat saadaan valetuiksi kokonaan umpeen.

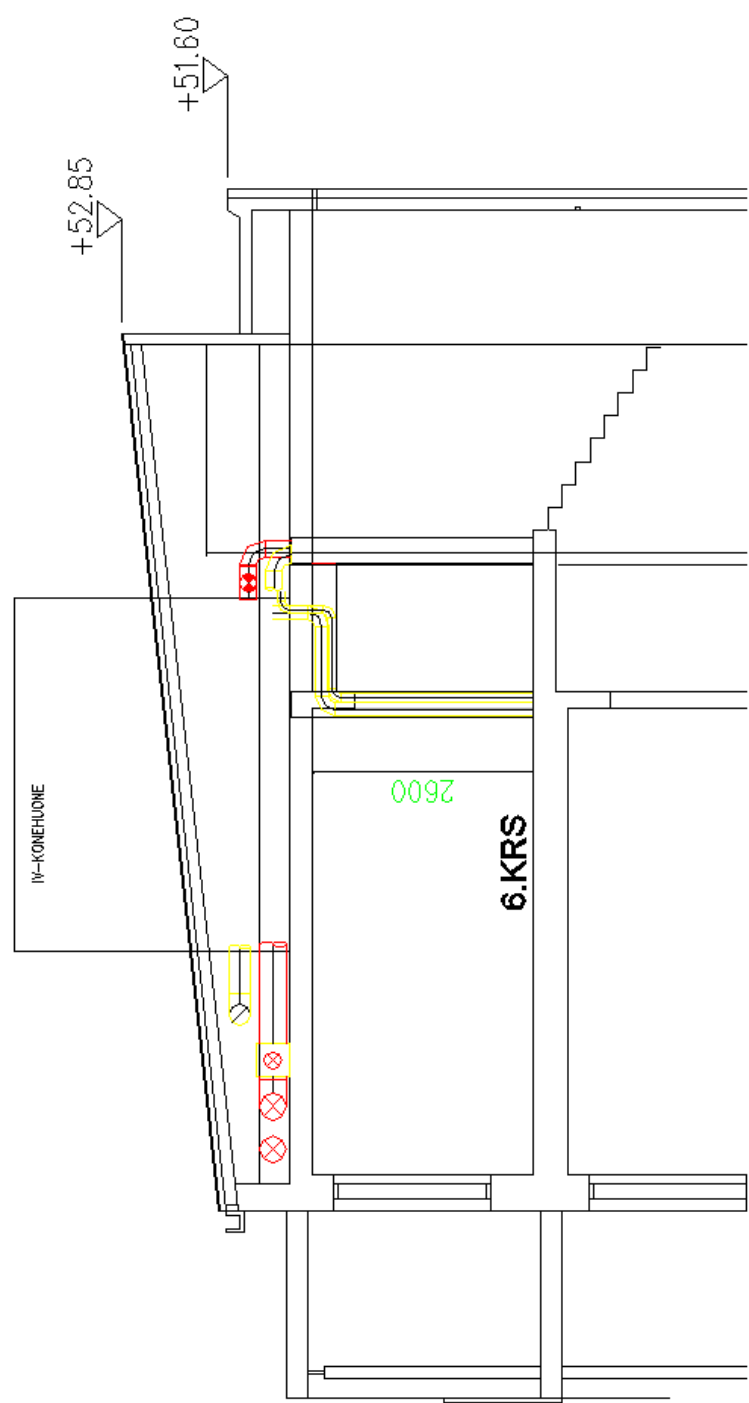
LIITE 8 IV-koneiden ja konehuoneen sijainti mittauskohteessa



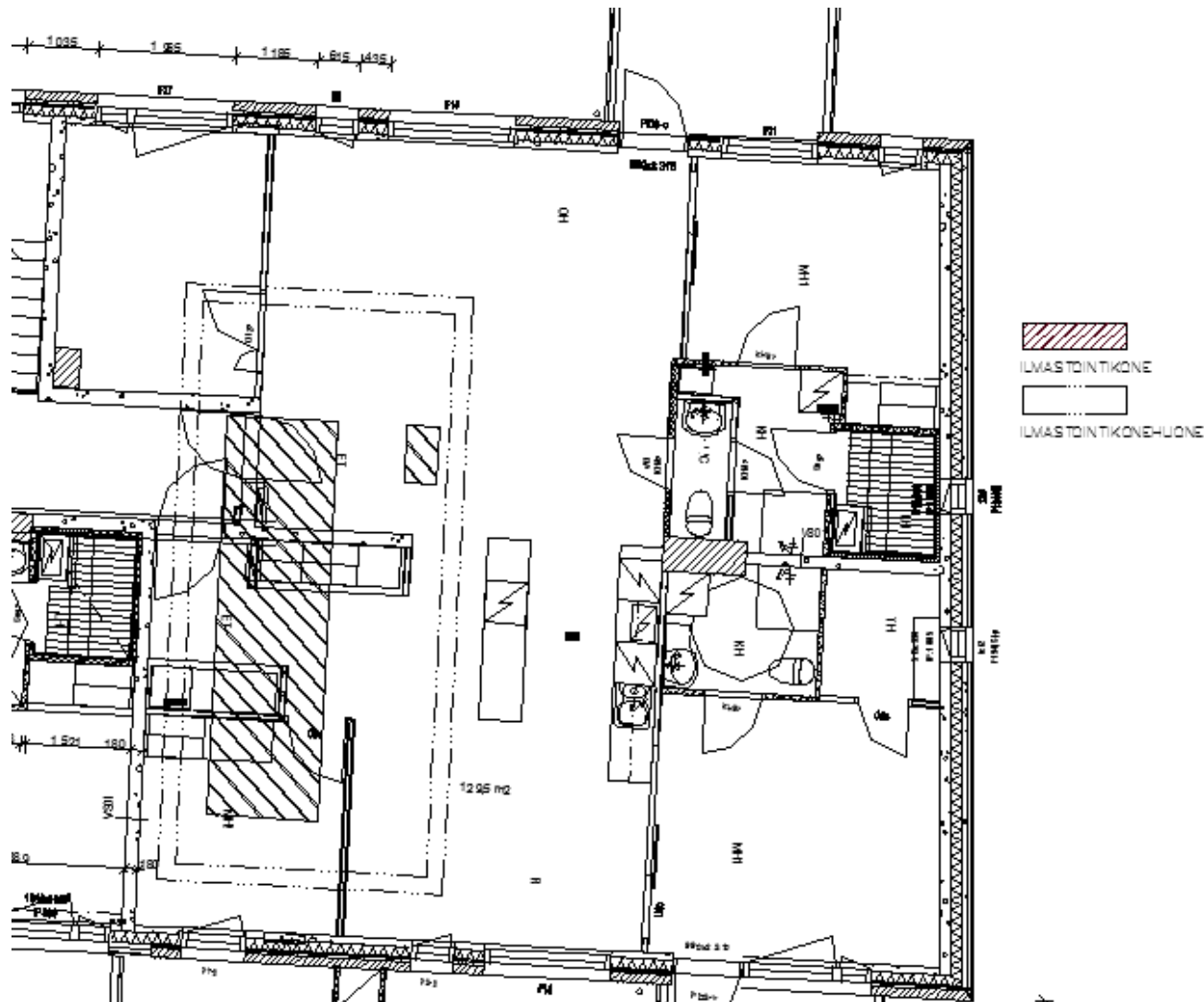
LIITE 9 Mittauskohteen ilmastointikanavat



LIITE10 Leikkauskuva mittauskohteesta



LIITE 11 IV-konehuoneen sijainti vertailukohteessa



LIITE 12 Vertailukohteen pumppu

